

(12)特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19)世界知的所有権機関
国際事務局(43)国際公開日
2004年7月29日 (29.07.2004)

PCT

(10)国際公開番号
WO 2004/064133 A1(51)国際特許分類⁷:

H01L 21/20, 21/268

(74)代理人: 原謙三, 外(HARA, Kenzo et al.); 〒5300041
大阪府大阪市北区天神橋2丁目北2番6号 大和南
森町ビル 原謙三国際特許事務所 Osaka (JP).

(21)国際出願番号:

PCT/JP2004/000161

(22)国際出願日:

2004年1月13日 (13.01.2004)

(81)指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保護が
可能): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR,
BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM,
DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU,
ID, IL, IN, IS, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT,
LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NI,
NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG,
SK, SL, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ,
VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

(25)国際出願の言語:

日本語

(84)指定国(表示のない限り、全ての種類の広域保護が
可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL,
SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG,
KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AT, BE, BG, CH,
CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU,
MC, NL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG,
CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

(26)国際公開の言語:

日本語

(30)優先権データ:

特願2003-007631 2003年1月15日 (15.01.2003) JP

(71)出願人(米国を除く全ての指定国について): シャープ
株式会社 (SHARP KABUSHIKI KAISHA) [JP/JP]; 〒
5458522 大阪府大阪市阿倍野区長池町22番22号
Osaka (JP).

(72)発明者; および

(75)発明者/出願人(米国についてのみ): 谷口
仁啓 (TANIGUCHI, Yoshihiro) [—/—]. 綱沢
啓 (TSUNAZAWA, Hiroshi) [—/—]. 岡崎 真也
(OKAZAKI, Shinya) [—/—]. 乾 哲也 (INUI, Tetsuya)
[—/—].

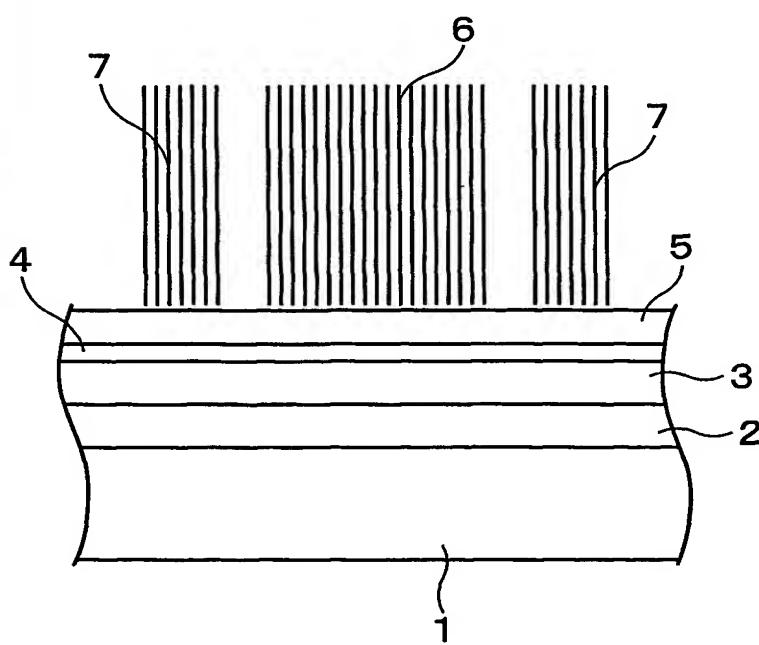
添付公開書類:

— 国際調査報告書

[続葉有]

(54)Title: CRYSTALLIZED SEMICONDUCTOR THIN FILM MANUFACTURING METHOD AND ITS MANUFACTURING APPARATUS

(54)発明の名称: 結晶化半導体薄膜の製造方法ならびにその製造装置



(6)よりも小さいエネルギー密度を有し、かつ上記主ビーム(6)と隣り合うように副ビーム(7)を照射する。

(57)Abstract: A method for manufacturing a crystallized semiconductor thin film in which a fine slit-shaped energy beam pulse is applied to a region of a semiconductor thin film (5), and the region is fused and then solidified to crystallize the whole region in the direction of the thickness of the semiconductor thin film (5). The energy beam pulse is composed of a main beam (6) and sub-beams (7) adjacent to the main beam (6) and having energy densities lower than that of the main beam (6).

(57)要約: 結晶化半導体薄膜の製造方法は、パルス放射する微細幅のスリット状のエネルギーbeamを半導体薄膜(5)に照射して、該エネルギーbeamの照射領域における上記半導体薄膜(5)を厚さ方向全域にわたって溶融、凝固させて結晶化を行う結晶化半導体薄膜の製造方法であって、上記半導体薄膜(5)には、主ビーム(6)と、主ビーム(7)を照射する。

WO 2004/064133 A1



2文字コード及び他の略語については、定期発行される各PCTガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語のガイダンスノート」を参照。

明 細 書

結晶化半導体薄膜の製造方法ならびにその製造装置

技術分野

本発明は、エネルギー ビーム、特にレーザ光を利用して結晶化半導体薄膜を製造する結晶化半導体薄膜の製造方法、及び、製造装置に関するものである。

背景技術

液晶やエレクトロルミネッセンス (EL) 等を応用した表示装置に用いられている薄膜トランジスタは、非晶質もしくは多結晶のシリコンを活性層として用いている。このうち、多結晶シリコンを活性層とした薄膜トランジスタ（結晶化半導体薄膜）は、非晶質シリコンを活性層とした薄膜トランジスタと比べて、電子の移動度が高いために、非晶質シリコンの薄膜トランジスタに比較して、多くの長所を有している。

具体的には、例えば、多結晶シリコンを活性層とした薄膜トランジスタは、画素部分にスイッチング素子を形成するだけでなく、画素周辺部分に駆動回路や、一部の周辺回路を一枚の基板上に形成することができる。このため、別途ドライバ IC や駆動回路基板を表示装置に実装する必要がなくなるので、表示装置を低価格で提供することが可能となる。

また、その他の長所としては、トランジスタの寸法を微細化できるので、画素部分に形成するスイッチング素子が小さくなり、高開口率化を図ることができる。このため、高輝度、高精細な表示装置を提供するこ

とが可能となる。

ところで、上記のような多結晶シリコンを活性層とした薄膜トランジスタ、すなわち、多結晶シリコン薄膜（結晶化半導体薄膜）の製造方法には、ガラス基板にCVD法などで非晶質シリコン薄膜を形成した後、
5 別途、非晶質シリコンを多結晶化する工程が必要となる。

そして、非晶質シリコンを多結晶化（結晶化）する工程としては、例えば、600°C以上の高温でアニールする高温アニール法等がある。しかし上記方法によって多結晶シリコンを製造する場合、非晶質シリコンを積層している基板として、上記のような高温に絶えるだけの高価なガラス基板を使用する必要があり、表示装置の低価格化の阻害要因となっていた。
10

ところが、近年では、レーザ光を用いて600°C以下の低温で非晶質シリコンの結晶化を行う技術が一般化されており、低価格のガラス基板に多結晶シリコントランジスタを形成した表示装置を低価格で提供でき
15 るようになっている。

レーザ光を用いた結晶化技術としては、例えば、非晶質（アモルファス）シリコン薄膜を形成したガラス基板を400°C程度に加熱して、上記ガラス基板を一定速度で走査させながら、長さ200～400mm、幅0.2～1.0mm程度の線状レーザビームを上記ガラス基板上に連続的に照射する方法が一般的である。この方法を用いると、アモルファスシリコン薄膜の厚さと同程度の平均粒径を有する多結晶シリコン薄膜を形成することができる。このとき、レーザビームが照射された部分の非晶質シリコンは、厚さ方向の全域にわたって溶融するのではなく、一部の非晶質領域を残して溶融することとなる。これによって、レーザ照
20

射領域の全面にわたって、いたるところに結晶核が発生し、シリコン薄膜最表層に向かって結晶が成長し、ランダムな方位の結晶粒が形成されることとなる。

ところが、さらに高性能な表示装置を得るために、多結晶シリコンの結晶粒径を大きくすること、成長する結晶の方向を制御することが必要であり、単結晶シリコンに近い性能を得ることを目的として数多くの研究開発がなされている。

具体的には例えば、特許文献 1 に結晶をより大きくするための技術が開示されている。

その中でも特に、特許文献 1 にはスーパー ラテラル成長と称する技術が開示されている。該特許文献 1 に開示の方法は、微細幅のパルスレーザをシリコン薄膜に照射し、シリコン薄膜をレーザ照射領域の厚さ方向の全域にわたって溶融・凝固させて結晶化を行うものである。

図 9 は、スーパー ラテラル成長による結晶化のプロセスを説明する図面である。図 9 (a) において、例えば、 $2 \sim 3 \mu\text{m}$ の微細幅のレーザを半導体薄膜に照射し、領域 7 1 の半導体薄膜を厚さ方向全域にわたって溶融させると、未溶融領域の境界から横方向 7 2、すなわち、水平方向に針状の結晶が成長し、溶融領域中央部で両側から成長した結晶が衝突し成長が終了する。図 9 (a) のように水平方向に結晶成長することをラテラル成長と呼ぶ。さらに、図 9 (b)、(c) に示すように、1 回前のレーザ照射で形成された針状結晶の一部に重複するように順次レーザパルスを照射していくと、既に成長した結晶を引き継いで、さらに長い針状の結晶が成長し、結晶の成長する方向の揃った長結晶が得られると記載されている。図 9 (b)、(c) のようにラテラル成長した結

晶を引き継いでさらに大きな結晶を成長させることをスーパーラテラル成長と呼ぶ。

また、特許文献2には、第1のパルスビームに包含されるように第2のパルスビームを半導体薄膜に照射する構成が開示されている。

5 また、スーパーラテラル成長とは異なる結晶化のプロセスとしては、例えば、特許文献3に開示された技術がある。

〔特許文献1〕

特許3204986号公報（登録日：2001年6月29日）

〔特許文献2〕

10 特公平3-79861号公報（公告日：1991年12月20日）

〔特許文献3〕

特公平4-20254号公報（公告日：1992年4月2日）

〔非特許文献1〕

応用物理学会結晶工学分科会第112回研究会テキストp. 19~2

15 5

しかしながら、上記従来の技術では、結晶のラテラル成長方向の距離をより長く伸ばすことが困難である、または、ラテラル成長方向の距離をより長く伸ばすことができても非常に効率が悪いという問題点がある。以下に、上記特許文献1の問題点について詳述する。

20 上記特許文献1に開示の方法において、1回のパルス照射で成長する結晶の長さは、各種のプロセス条件と半導体薄膜の厚さによって異なり、基板温度300°Cとして、波長308nmのエキシマレーザを照射した場合には、最長1~1.2μm程度となることが知られている（例えば、非特許文献1参照）。

しかしながら、上記特許文献 1 に開示の方法では、図 9 (c) に示すような針状の長結晶を形成するためには、1 パルスのレーザ照射で成長する結晶長さ（以下、「ラテラル成長距離」と称す）の $1/2 \sim 1/3$ 程度の送りピッチ、すなわち、 $0.3 \sim 0.6 \mu\text{m}$ 程度の極めて微小な送りピッチでパルスレーザ照射を繰り返し行うことが必要である。このため、表示装置などに用いる基板の全面にわたって結晶化するには極めて長い時間が必要であり、製造効率が極めて悪いという問題点を有している。

また、上記特許文献 2 に開示の方法では、第 1 のパルスビームは第 2 のパルスビームを包含するように照射している。第 1 のパルスビームは、基板と半導体薄膜とのストレスとなるヒータ加熱を除去することを目的として、基板を予備加熱するために照射するものであり、特許文献 2 に記載の方法を実施するためには計 2 つのビーム照射手段を備える複雑な装置が必要となる。

また、薄膜トランジスタのチャネル長は、現状、数 μm 以上であるため、キャリアの移動方向に粒界のない結晶を得るには、数回以上の連続的成長を行う必要があった。しかしながら、1 パルスのレーザ照射で数 μm 以上の針状結晶が成長し、そこにチャネルを形成することができれば、キャリアの移動度が高く、特性に優れた薄膜トランジスタを形成することができるようになる。

以上説明した理由により、スーパー ラテラル成長技術においては、結晶のラテラル成長方向の距離をより一層伸ばすことが求められている。

本発明は上記従来の課題に鑑みてなされたものであり、その目的は、ラテラル成長方向の距離をより長くして、良質の多結晶化半導体薄膜を

効率よく製造する結晶化半導体薄膜の製造方法および製造装置を提供することである。

発明の開示

5 本発明にかかる結晶化半導体薄膜の製造方法は、上記課題を解決するために、主エネルギービームと、単位面積あたりのエネルギーが該主エネルギービームよりも小さくかつ半導体薄膜が溶融するエネルギーのしきい値より低い副エネルギービームとを、基板上に形成された半導体薄膜に、パルス照射することにより該半導体薄膜を厚さ方向の全域にわたって溶融させて、その後結晶化させることにより結晶化半導体薄膜を製造する結晶化半導体薄膜の製造方法であって、上記主エネルギービームと隣り合うように副エネルギービームを照射することを特徴としている。

10 上記の構成によれば、主エネルギービームと隣り合うように、副エネルギービームを照射するようになっている。一般に、主エネルギービームのパルス照射によって、融解された半導体薄膜は、周囲から結晶化することになる。このとき、本発明では、この融解された半導体薄膜の周囲に、上記主エネルギービームよりも、単位面積あたりのエネルギーの小さい副エネルギービームを、上記主エネルギービームと隣り合うように照射するようになっている。そして、上記副エネルギービームの単位面積あたりのエネルギーは、半導体薄膜が溶融するエネルギーのしきい値よりも低く設定されている。つまり、主エネルギービームの照射によって融解された領域の周囲は、副エネルギービームの照射によって保温されている状態となる。これにより、融解された半導体薄膜は、従来と

比べて、遅い冷却速度で冷却されることとなる。つまり、溶融された半導体薄膜が、結晶化する際、徐々に結晶化することとなる。これにより、結晶化半導体薄膜の結晶の大きさを従来と比べて、大きくすることができる。なお、上記主エネルギー ビームは、半導体薄膜を溶融させることができる。つまり、主エネルギー ビームの単位面積あたりのエネルギーは、半導体薄膜が溶融するエネルギーのしきい値よりも高く設定されている。つまり、上記の構成とすることにより、半導体薄膜における溶融領域を精密に制御することに加えて、溶融した半導体薄膜の結晶化の速度（凝固）の制御も行うことができる。

従って、半導体薄膜へ与えるエネルギーの空間的温度分布を変化させることができ、凝固（結晶化）時の時間的、空間的温度変化を緩やかにしているので、その結果、ラテラル成長法によって形成される針状結晶（半導体薄膜を構成する材料からなる結晶）の長さ（ラテラル成長距離）を伸長することができる。

また、主ビームと隣り合うように副ビームを照射することにより、例えば、複数のエネルギーの異なるパルスレーザを同一箇所に複数照射して、半導体薄膜を結晶化させる構成等と比べて、短時間で結晶化半導体薄膜を製造することができる。これにより、従来と比べて、結晶化半導体薄膜の製造効率がよい。

本発明にかかる結晶化半導体薄膜の製造装置は、上記課題を解決するために、主エネルギー ビームと、単位面積あたりのエネルギーが該主エネルギー ビームよりも小さくかつ半導体薄膜が溶融するエネルギーのしきい値より低い副エネルギー ビームとを、基板上に形成された半導体薄膜に対してパルス照射するエネルギー ビーム照射手段を備えた、結晶化

半導体薄膜の製造装置であって、上記エネルギー ビーム照射手段は、上記副エネルギー ビームを、主エネルギー ビームと隣り合うように照射するようになっていることを特徴としている。

上記の構成によれば、上記エネルギー ビーム照射手段は、上記副エネルギー ビームを、主エネルギー ビームと隣り合うように照射するようになっている。これにより、主ビームに対して、副ビームを隣り合うように、半導体薄膜に照射することができるので、ラテラル成長距離の大きな結晶を有する結晶化半導体薄膜を製造する製造装置を提供することができる。

本発明にかかる結晶化半導体薄膜の製造装置は、上記の課題を解決するため、主エネルギー ビームをパルス照射する第1ビーム照射部と、上記第1ビーム照射部から照射される主エネルギー ビームのパターンを形成する第1のマスクと、単位面積あたりのエネルギーが上記主エネルギー ビームよりも小さくかつ半導体薄膜が溶融するエネルギーのしきい値より低い副エネルギー ビームを照射する第2ビーム照射部と、上記第2ビーム照射部から照射される副エネルギー ビームのパターンを形成する第2のマスクと、上記第1のマスクと第2のマスクとによりそれぞれ形成されたパターンを、半導体薄膜上に結像する結像レンズとを備え、上記第1のマスクと第2のマスクとは、副エネルギー ビームが、主エネルギー ビームと隣り合うように半導体薄膜上に照射されるパターンを形成するようになっていることを特徴としている。

上記の構成によれば、2つのエネルギー ビーム照射手段を用いて、上記副エネルギー ビームを、主エネルギー ビームと隣り合うように照射するようになっている。これにより、主ビームに対して、副ビームを隣り

合うように、半導体薄膜に照射することができるので、ラテラル成長距離の大きな結晶を有する結晶化半導体薄膜を製造する製造装置を提供することができる。また、2つのエネルギービーム照射手段を用いることにより、例えば、互いに波長の異なるエネルギービーム等を簡単に作り出すことができる。

本発明のさらに他の目的、特徴、および優れた点は、以下に示す記載によって十分わかるであろう。また、本発明の利益は、添付図面を参照した次の説明で明白になるであろう。

10 図面の簡単な説明

図1は、本発明の結晶化半導体薄膜を製造する際のエネルギービームの照射の方法を説明する側面図である。

図2は、本発明の実施の形態に基づく結晶化半導体薄膜の製造装置の概略の構成を示す正面図である。

15 図3は、本発明の実施形態にかかる結晶化半導体薄膜の製造装置に用いるマスクに形成されるパターンの形状を示す正面図である。

図4は、本発明による結晶化半導体薄膜の製造装置に用いる結像レンズのMTFを説明するグラフである。

20 図5は、本発明の実施形態における半導体薄膜の温度プロファイルを示すグラフであり、(a)は、レーザ光を照射開始して25ns後のグラフであり、(b)は、60ns後のグラフであり、(c)は、70ns後のグラフであり、(d)は、100ns後のグラフである。

図6は、本発明の他の実施形態にかかる結晶化半導体薄膜の製造装置の構成を示す正面図である。

図 7 は、本発明の他の実施形態にかかる結晶化半導体薄膜の製造装置に用いるマスクに形成されるパターンの形状を示す正面図であり、(a) は、主ビーム形成用パターンを示しており、(b) は、副ビーム形成用パターンを示している。

5 図 8 は、本発明の他の実施形態におけるパルスレーザの出力の時間変化を説明するグラフである。

図 9 は、一般的なスーパー ラテラル成長による結晶の成長を示す正面図である。

10 発明を実施するための最良の形態

〔実施の形態 1〕

本発明の実施の一形態について図 1 ないし図 5 に基づいて説明すれば、以下の通りである。まず、本実施の形態の結晶化半導体薄膜の製造方法に用いる半導体薄膜を有する基板について説明する。

15 本実施の形態に使用する半導体薄膜を有する基板は、図 1 に示すように、絶縁性基板 1 上に、耐熱性薄膜 2、高熱伝導性絶縁膜（熱伝導性絶縁膜）3、バッファ膜 4、半導体薄膜 5 を順に積層したものである。

絶縁性基板 1 は、ガラスや石英等を用いることができるが、安価である点および大面積基板を容易に製造できる点でガラスを用いることが望20 ましい。本実施の形態では 0.7 mm の厚さのガラス基板を用いている。

耐熱性薄膜 2 は、主として結晶化の際に溶融した半導体薄膜 5 の熱影響が絶縁性基板 1 に及ぼないようにするために形成する。本実施の形態においては、CVD (Chemical Vapor Deposition)

○ n) 法により形成された 100 nm の厚さの酸化シリコンを用いてい
る。

高熱伝導性絶縁膜 3 は、水平方向に熱を逃がすことにより水平方向 7
2 (図 9 参照)への結晶成長 (ラテラル成長) を促進するために用いられ
る。つまり、結晶化する方向を誘導することにより、結晶をより大き
く成長させるために用いられる。また、高熱伝導性絶縁膜 3 の膜厚とし
ては、10～50 nm の範囲内がより好ましい。高熱伝導性絶縁膜 3 の
製造方法としては、例えば、蒸着、イオンプレーティング、又はスパッ
タリングなどにより積層すればよい。本実施の形態においては、スパッ
タリングにより形成された 20 nm 厚の窒化アルミニウムとした。この
高熱伝導性絶縁膜 3 は、必要に応じて設ければよい。

上記高熱伝導性絶縁膜 3 を構成する材料としては、具体的には、例え
ば、窒化アルミニウム、窒化シリコン、酸化アルミニウム、酸化マグネ
シウムおよび酸化セリウムから選択される少なくとも 1 種類の材料が好
適に使用することができる。

上記高熱伝導性薄膜 3 を形成することにより、エネルギービームの照
射端から未照射部への熱流入が促進されることにより、従来と比べて、
ラテラル成長距離の大きい結晶を得ることができる。

バッファ層 4 は、半導体薄膜 5 への、例えば、高熱伝導性絶縁膜 3 や
20 耐熱性薄膜 2 等の下層膜からの不純物拡散防止、並びに、結晶化の際
に半導体薄膜 5 と高熱伝導性薄膜 3 との反応 (例えば、合金化) を防止
するために必要に応じて形成すればよい。本実施の形態においては、C
VD 法により形成された 20 nm 厚の酸化シリコンを用いている。

半導体薄膜 5 は、非晶質もしくは結晶性の半導体材料を膜厚が 30～

200 nm の範囲内となるように形成すればよい。本実施の形態においては、CVD 法により形成された 50 nm の厚さのアモルファスシリコンを用いている。そして、上記半導体薄膜 5 を多結晶化させることにより、最終的に製品として使用される結晶化半導体薄膜を得ることができる。
5

以下に、上記説明した半導体薄膜 5 を有する基板にレーザを照射して上記半導体薄膜 5 を多結晶化する方法、すなわち、本実施の形態にかかる結晶化半導体薄膜の製造方法について説明する。本実施の形態にかかる結晶化半導体薄膜の製造方法は、主エネルギー ビーム（以下、主ビームと称する）と、単位面積あたりのエネルギーが該主エネルギー ビームよりも小さくかつ半導体薄膜が溶融するエネルギーのしきい値より低い副エネルギー ビーム（以下、副ビームと称する）とを、基板上に形成された半導体薄膜に、パルス照射することにより該半導体薄膜を厚さ方向の全域にわたって溶融させて、その後結晶化させることにより結晶化半導体薄膜を製造する結晶化半導体薄膜の製造方法であって、上記主ビームと隣り合うように副ビームを照射する方法である。
10
15

図 1 に示すように、本実施の形態においては、半導体薄膜 5 を溶融・凝固させて再結晶化を行うための主ビーム 6 と、半導体薄膜 5 の温度を上昇させる目的で上記主ビーム 6 に近接する副ビーム 7 とを、上記半導体薄膜 5 に照射することで、従来よりも結晶（結晶粒径）の大きい結晶化半導体薄膜を製造するようになっている。まず、上記のようなビーム（主ビーム 6 および副ビーム 7）を形成（照射）ための装置、すなわち、本実施の形態にかかる結晶化半導体薄膜の製造装置について説明する。
20
25
30
35
40
45
50
55
60
65
70
75
80
85
90
95
100
105
110
115
120
125
130
135
140
145
150
155
160
165
170
175
180
185
190
195
200
205
210
215
220
225
230
235
240
245
250
255
260
265
270
275
280
285
290
295
300
305
310
315
320
325
330
335
340
345
350
355
360
365
370
375
380
385
390
395
400
405
410
415
420
425
430
435
440
445
450
455
460
465
470
475
480
485
490
495
500
505
510
515
520
525
530
535
540
545
550
555
560
565
570
575
580
585
590
595
600
605
610
615
620
625
630
635
640
645
650
655
660
665
670
675
680
685
690
695
700
705
710
715
720
725
730
735
740
745
750
755
760
765
770
775
780
785
790
795
800
805
810
815
820
825
830
835
840
845
850
855
860
865
870
875
880
885
890
895
900
905
910
915
920
925
930
935
940
945
950
955
960
965
970
975
980
985
990
995
1000
1005
1010
1015
1020
1025
1030
1035
1040
1045
1050
1055
1060
1065
1070
1075
1080
1085
1090
1095
1100
1105
1110
1115
1120
1125
1130
1135
1140
1145
1150
1155
1160
1165
1170
1175
1180
1185
1190
1195
1200
1205
1210
1215
1220
1225
1230
1235
1240
1245
1250
1255
1260
1265
1270
1275
1280
1285
1290
1295
1300
1305
1310
1315
1320
1325
1330
1335
1340
1345
1350
1355
1360
1365
1370
1375
1380
1385
1390
1395
1400
1405
1410
1415
1420
1425
1430
1435
1440
1445
1450
1455
1460
1465
1470
1475
1480
1485
1490
1495
1500
1505
1510
1515
1520
1525
1530
1535
1540
1545
1550
1555
1560
1565
1570
1575
1580
1585
1590
1595
1600
1605
1610
1615
1620
1625
1630
1635
1640
1645
1650
1655
1660
1665
1670
1675
1680
1685
1690
1695
1700
1705
1710
1715
1720
1725
1730
1735
1740
1745
1750
1755
1760
1765
1770
1775
1780
1785
1790
1795
1800
1805
1810
1815
1820
1825
1830
1835
1840
1845
1850
1855
1860
1865
1870
1875
1880
1885
1890
1895
1900
1905
1910
1915
1920
1925
1930
1935
1940
1945
1950
1955
1960
1965
1970
1975
1980
1985
1990
1995
2000
2005
2010
2015
2020
2025
2030
2035
2040
2045
2050
2055
2060
2065
2070
2075
2080
2085
2090
2095
2100
2105
2110
2115
2120
2125
2130
2135
2140
2145
2150
2155
2160
2165
2170
2175
2180
2185
2190
2195
2200
2205
2210
2215
2220
2225
2230
2235
2240
2245
2250
2255
2260
2265
2270
2275
2280
2285
2290
2295
2300
2305
2310
2315
2320
2325
2330
2335
2340
2345
2350
2355
2360
2365
2370
2375
2380
2385
2390
2395
2400
2405
2410
2415
2420
2425
2430
2435
2440
2445
2450
2455
2460
2465
2470
2475
2480
2485
2490
2495
2500
2505
2510
2515
2520
2525
2530
2535
2540
2545
2550
2555
2560
2565
2570
2575
2580
2585
2590
2595
2600
2605
2610
2615
2620
2625
2630
2635
2640
2645
2650
2655
2660
2665
2670
2675
2680
2685
2690
2695
2700
2705
2710
2715
2720
2725
2730
2735
2740
2745
2750
2755
2760
2765
2770
2775
2780
2785
2790
2795
2800
2805
2810
2815
2820
2825
2830
2835
2840
2845
2850
2855
2860
2865
2870
2875
2880
2885
2890
2895
2900
2905
2910
2915
2920
2925
2930
2935
2940
2945
2950
2955
2960
2965
2970
2975
2980
2985
2990
2995
3000
3005
3010
3015
3020
3025
3030
3035
3040
3045
3050
3055
3060
3065
3070
3075
3080
3085
3090
3095
3100
3105
3110
3115
3120
3125
3130
3135
3140
3145
3150
3155
3160
3165
3170
3175
3180
3185
3190
3195
3200
3205
3210
3215
3220
3225
3230
3235
3240
3245
3250
3255
3260
3265
3270
3275
3280
3285
3290
3295
3300
3305
3310
3315
3320
3325
3330
3335
3340
3345
3350
3355
3360
3365
3370
3375
3380
3385
3390
3395
3400
3405
3410
3415
3420
3425
3430
3435
3440
3445
3450
3455
3460
3465
3470
3475
3480
3485
3490
3495
3500
3505
3510
3515
3520
3525
3530
3535
3540
3545
3550
3555
3560
3565
3570
3575
3580
3585
3590
3595
3600
3605
3610
3615
3620
3625
3630
3635
3640
3645
3650
3655
3660
3665
3670
3675
3680
3685
3690
3695
3700
3705
3710
3715
3720
3725
3730
3735
3740
3745
3750
3755
3760
3765
3770
3775
3780
3785
3790
3795
3800
3805
3810
3815
3820
3825
3830
3835
3840
3845
3850
3855
3860
3865
3870
3875
3880
3885
3890
3895
3900
3905
3910
3915
3920
3925
3930
3935
3940
3945
3950
3955
3960
3965
3970
3975
3980
3985
3990
3995
4000
4005
4010
4015
4020
4025
4030
4035
4040
4045
4050
4055
4060
4065
4070
4075
4080
4085
4090
4095
4100
4105
4110
4115
4120
4125
4130
4135
4140
4145
4150
4155
4160
4165
4170
4175
4180
4185
4190
4195
4200
4205
4210
4215
4220
4225
4230
4235
4240
4245
4250
4255
4260
4265
4270
4275
4280
4285
4290
4295
4300
4305
4310
4315
4320
4325
4330
4335
4340
4345
4350
4355
4360
4365
4370
4375
4380
4385
4390
4395
4400
4405
4410
4415
4420
4425
4430
4435
4440
4445
4450
4455
4460
4465
4470
4475
4480
4485
4490
4495
4500
4505
4510
4515
4520
4525
4530
4535
4540
4545
4550
4555
4560
4565
4570
4575
4580
4585
4590
4595
4600
4605
4610
4615
4620
4625
4630
4635
4640
4645
4650
4655
4660
4665
4670
4675
4680
4685
4690
4695
4700
4705
4710
4715
4720
4725
4730
4735
4740
4745
4750
4755
4760
4765
4770
4775
4780
4785
4790
4795
4800
4805
4810
4815
4820
4825
4830
4835
4840
4845
4850
4855
4860
4865
4870
4875
4880
4885
4890
4895
4900
4905
4910
4915
4920
4925
4930
4935
4940
4945
4950
4955
4960
4965
4970
4975
4980
4985
4990
4995
5000
5005
5010
5015
5020
5025
5030
5035
5040
5045
5050
5055
5060
5065
5070
5075
5080
5085
5090
5095
5100
5105
5110
5115
5120
5125
5130
5135
5140
5145
5150
5155
5160
5165
5170
5175
5180
5185
5190
5195
5200
5205
5210
5215
5220
5225
5230
5235
5240
5245
5250
5255
5260
5265
5270
5275
5280
5285
5290
5295
5300
5305
5310
5315
5320
5325
5330
5335
5340
5345
5350
5355
5360
5365
5370
5375
5380
5385
5390
5395
5400
5405
5410
5415
5420
5425
5430
5435
5440
5445
5450
5455
5460
5465
5470
5475
5480
5485
5490
5495
5500
5505
5510
5515
5520
5525
5530
5535
5540
5545
5550
5555
5560
5565
5570
5575
5580
5585
5590
5595
5600
5605
5610
5615
5620
5625
5630
5635
5640
5645
5650
5655
5660
5665
5670
5675
5680
5685
5690
5695
5700
5705
5710
5715
5720
5725
5730
5735
5740
5745
5750
5755
5760
5765
5770
5775
5780
5785
5790
5795
5800
5805
5810
5815
5820
5825
5830
5835
5840
5845
5850
5855
5860
5865
5870
5875
5880
5885
5890
5895
5900
5905
5910
5915
5920
5925
5930
5935
5940
5945
5950
5955
5960
5965
5970
5975
5980
5985
5990
5995
6000
6005
6010
6015
6020
6025
6030
6035
6040
6045
6050
6055
6060
6065
6070
6075
6080
6085
6090
6095
6100
6105
6110
6115
6120
6125
6130
6135
6140
6145
6150
6155
6160
6165
6170
6175
6180
6185
6190
6195
6200
6205
6210
6215
6220
6225
6230
6235
6240
6245
6250
6255
6260
6265
6270
6275
6280
6285
6290
6295
6300
6305
6310
6315
6320
6325
6330
6335
6340
6345
6350
6355
6360
6365
6370
6375
6380
6385
6390
6395
6400
6405
6410
6415
6420
6425
6430
6435
6440
6445
6450
6455
6460
6465
6470
6475
6480
6485
6490
6495
6500
6505
6510
6515
6520
6525
6530
6535
6540
6545
6550
6555
6560
6565
6570
6575
6580
6585
6590
6595
6600
6605
6610
6615
6620
6625
6630
6635
6640
6645
6650
6655
6660
6665
6670
6675
6680
6685
6690
6695
6700
6705
6710
6715
6720
6725
6730
6735
6740
6745
6750
6755
6760
6765
6770
6775
6780
6785
6790
6795
6800
6805
6810
6815
6820
6825
6830
6835
6840
6845
6850
6855
6860
6865
6870
6875
6880
6885
6890
6895
6900
6905
6910
6915
6920
6925
6930
6935
6940
6945
6950
6955
6960
6965
6970
6975
6980
6985
6990
6995
7000
7005
7010
7015
7020
7025
7030
7035
7040
7045
7050
7055
7060
7065
7070
7075
7080
7085
7090
7095
7100
7105
7110
7115
7120
7125
7130
7135
7140
7145
7150
7155
7160
7165
7170
7175
7180
7185
7190
7195
7200
7205
7210
7215
7220
7225
7230
7235
7240
7245
7250
7255
7260
7265
7270
7275
7280
7285
7290
7295
7300
7305
7310
7315
7320
7325
7330
7335
7340
7345
7350
7355
7360
7365
7370
7375
7380
7385
7390
7395
7400
7405
7410
7415
7420
7425
7430
7435
7440
7445
7450
7455
7460
7465
7470
7475
7480
7485
7490
7495
7500
7505
7510
7515
7520
7525
7530
7535
7540
7545
7550
7555
7560
7565
7570
7575
7580
7585
7590
7595
7600
7605
7610
7615
7620
7625
7630
7635
7640
7645
7650
7655
7660
7665
7670
7675
7680
7685
7690
7695
7700
7705
7710
7715
7720
7725
7730
7735
7740
7745
7750
7755
7760
7765
7770
7775
7780
7785
7790
7795
7800
7805
7810
7815
7820
7825
7830
7835
7840
7845
7850
7855
7860
7865
7870
7875
7880
7885
7890
7895
7900
7905
7910
7915
7920
7925
7930
7935
7940
7945
7950
7955
7960
7965
7970
7975
7980
7985
7990
7995
8000
8005
8010
8015
8020
8025
8030
8035
8040
8045
8050
8055
8060
8065
8070
8075
8080
8085
8090
8095
8100
8105
8110
8115
8120
8125
8130
8135
8140
8145
8150
8155
8160
8165
8170
8175
8180
8185
8190
8195
8200
8205
8210
8215
8220
8225
8230
8235
8240
8245
8250
8255
8260
8265
8270
8275
8280
8285
8290
8295
8300
8305
8310
8315
8320
8325
8330
8335
8340
8345
8350
8355
8360
8365
8370
8375
8380
8385
8390
8395
8400
8405
8410
8415
8420
8425
8430
8435
8440
8445
8450
8455
8460
8465
8470
8475
8480
8485
8490
8495
8500
8505
8510
8515
8520
8525
8530
8535
8540
8545
8550
8555
8560
8565
8570
8575
8580
8585
8590
8595
8600
8605
8610
8615
8620
8625
8630
8635
8640
8645
8650
8655
8660
8665
8670
8675
8680
8685
8690
8695
8700
8705
8710
8715
8720
8725
8730
8735
8740
8745
8750
8755
8760
8765
8770
8775
8780
8785
8790
8795
8800
8805
8810
8815
8820
8825
8830
8835
8840
8845
8850
8855
8860
8865
8870
8875
8880
8885
8890
8895
8900
8905
8910
8915
8920
8925
8930
8935
8940
8945
8950
8955
8960
8965
8970
8975
8980
8985
8990
8995
9000
9005
9010
9015
9020
9025
9030
9035
9040
9045
9050
9055
9060
9065

本実施の形態にかかる結晶化半導体薄膜の製造装置は、主ビーム 6 と、単位面積あたりのエネルギーが該主ビーム 6 よりも小さくかつ半導体薄膜が溶融するエネルギーのしきい値より低い副ビーム 7 とを、基板上に形成された半導体薄膜に対してパルス照射するエネルギー ビーム照射手段を備えた結晶化半導体薄膜の製造装置であつて、上記エネルギー ビーム照射手段は、上記副ビーム 7 を、主ビーム 6 と隣り合うように照射するようになっている構成である。

より詳細には、主ビーム 6 と、単位面積あたりのエネルギーが該主ビーム 6 よりも小さくかつ半導体薄膜が溶融するエネルギーのしきい値より低い副ビーム 7 とを、基板上に形成された半導体薄膜に対してパルス照射するエネルギー ビーム照射手段と、半導体薄膜に照射される上記主ビーム 6 と副ビーム 7 とのパターンを形成するマスクと、上記マスクを透過した上記主ビーム 6 と副ビーム 7 とを半導体薄膜上に結像する結像レンズとを備え、上記マスクは、主ビーム 6 のパターンと隣り合うように、副ビーム 7 のパターンが形成されている構成である。なお、上記パルス照射するとは、パルスエネルギー ビーム（例えば、パルスレーザ）を照射することを示している。

本実施の形態にかかる結晶化半導体薄膜の製造装置は、図 2 に示すように、レーザ発振器 6 1、可変減衰器 6 3、ビーム整形素子 6 4、マスク面均一照明素子 6 5、フィールドレンズ 6 6、マスク 6 7、結像レンズ 6 8 を備えている。なお、以下の説明では、エネルギー ビームがレーザ光である構成について説明する。また、本実施の形態では、上記レーザ発振器 6 1、可変減衰器 6 3、ビーム整形素子 6 4、マスク面均一照明素子 6 5、フィールドレンズ 6 6、マスク 6 7、および、結像レンズ

6 8 等によりエネルギー照射手段が構成されている。

レーザ発振器 6 1 は、パルス状のレーザ光（エネルギー ビーム）を照射するものである。上記レーザ発振器 6 1 から照射されるレーザ光の単位面積あたりのエネルギーとしては、半導体薄膜 5（例えば、アモルフアスシリコン）を溶融することが可能であれば、特に限定されるものでない。また、上記のようなエネルギーを有するレーザ光を照射することができるレーザ発振器 6 1 としては、例えば、エキシマレーザ、YAG レーザに代表される各種固体レーザなど、紫外域の波長を有する光源が望ましい。本実施の形態では波長 308 nm のエキシマレーザを用いている。

可変減衰器 6 3 は、基板面に到達するレーザ光のエネルギー密度（単位面積あたりのエネルギー）を調整する機能を有している。

ビーム整形素子 6 4 およびマスク面均一照明素子 6 5 は、レーザ発振器 6 1 から出射したレーザ光を適當な寸法に整形した後、マスク面に均一に照明する機能を有している。これは、例えば、レーザ発振器 6 1 から照射されたガウシアン型の強度分布（エネルギー分布）のレーザ光を、シリンドリカルレンズアレイとコンデンサレンズとを用いることによって、分割してマスク面に重ねあわせて照明することで、均一な強度分布のマスク照明とするものである。

フィールドレンズ 6 6 は、マスク 6 7 を透過する主ビーム 6 および副ビーム 7 を結像レンズ 6 8 の結像面に垂直に入射させる機能を有する。

マスク 6 7 は、該マスク 6 7 に照射されてきたレーザ光を、主ビーム 6 と副ビーム 7 とに分けて透過させるようになっている。つまり、該マスク 6 7 に形成されたパターンにより、主ビーム 6 と副ビーム 7 とを作

りだすようになっている。該マスク 6 7 に形成されるパターンについて
は後述する。

そして、マスク 6 7 を透過した主ビーム 6 と副ビーム 7 とは、結像レ
ンズ 6 8 によって、半導体薄膜 5 を有する基板 6 9 (半導体薄膜) 上に
5 所定倍率で結像される。上記所定倍率は、結像レンズ 6 8 の倍率によっ
て変化する。本実施の形態において、結像レンズの倍率は 1/4 として
いる。

また、ミラー 6 2 はレーザ光を折返すために用いるが、配置箇所、數
量に制限はなく、装置の光学設計、機構設計に応じて適切に配置するこ
10 とが可能である。

図 3 は、本実施の形態にかかる結晶化半導体薄膜の製造装置のマスク
6 7 に形成するパターンを説明する正面図である。本実施の形態では、
マスク 6 7 に、主ビーム形成用パターン 2 1 の両側に近接して副ビーム
15 形成用パターン 2 2 が形成されている。具体的には、主ビーム形成用パ
ターン 2 1 と隣り合うように、副ビーム形成用パターン 2 2 が形成され
ている。これにより、レーザ発振器 6 1 から出射したレーザ光は、半導
体薄膜 5 に対して、上記副エネルギービームを、主エネルギービームと
隣り合うように照射することができる。なお、本実施の形態では、主ビ
ーム 6 形成パターン 2 1 と 2 つの副ビーム形成用パターン 2 2 とを 1 組
20 として、複数のパターン群を形成することが可能である。図 3 では、3
組のパターン群を形成している。

ここで、主ビーム形成用パターン 2 1 と副ビーム形成用パターン 2 2
の寸法関係について説明する。

主ビーム形成用パターン 2 1 の幅は、(ラテラル成長距離の 2 倍) / 結

像レンズの倍率) 程度とすればよい。上記幅としては、具体的には、例えば、12から60μm程度の間で設定することが可能である。本実施の形態においては、主ビーム形成用パターン21の幅を24μmとしている。

副ビーム形成用パターン22の幅は、結像レンズの解像度に応じて設定する。副ビーム形成用パターン22の幅を(結像レンズの解像度/結像レンズの倍率)と同程度以下とすれば、上記副ビーム形成用パターン22を透過したビームのエネルギー密度は、主ビーム6の単位面積あたりのエネルギー(以下、エネルギー密度と称する)よりも充分に小さくすることが出来る。これを利用し、本実施の形態では、主ビーム6のエネルギー密度を半導体薄膜の厚さ方向全体を溶融できるようにし、かつ副ビーム7のエネルギー密度を半導体薄膜5が溶融(融解)しないようなエネルギー密度とすることにより副ビーム形成用パターン22の幅を設定している。つまり、主ビーム6を半導体薄膜5に照射することによって、該半導体薄膜5を厚さ方向(基板上に積層されている積層方向)の全体を融解するエネルギー密度に設定する。その一方で、副ビーム7はそれ自体では、半導体薄膜5に照射した場合でも該半導体薄膜を融解させることがない。すなわち、副ビーム7のエネルギー密度は、主ビーム6よりも小さくかつ半導体薄膜5が溶融するエネルギーのしきい値より低くなるように設定している。換言すると、副ビーム7は、半導体薄膜5を結晶化しない程度、かつ、半導体薄膜5を暖めることができる程度のエネルギー密度を有していればよい。

具体的には、例えば、結像レンズの開口数(=NA)を0.15とし、使用する光の波長をλ(=0.308μm)とすると、解像度Rは近

似的に $R = \lambda / NA = 0.308 / 0.15 = 2.1 \mu m$ となる。また、結像レンズの倍率は $1/4$ であるので、副ビーム形成用パターン 22 の幅を (解像度 R / 結像レンズの倍率) と同程度以下である $4.0 \mu m$ としている。

5 図 4 は、本実施の形態にかかる結晶化半導体薄膜の製造装置に用いる
結像レンズ 68 の MTF (Modulus Transfer Function) を説明するグラフである。上記の説明のように、結像レンズの倍率は $1/4$ であるので、結像レンズ 68 を通過して、半導体薄膜 5 に照射される主ビーム 6 の幅が $6 \mu m$ となる。従って、このときの、
10 空間周波数は $1 / (0.006 \times 2) = 83$ (本/mm) となり、図 4 に示すような空間周波数と MTF との関係から、 $MTF = 0.89$ となる。また、上記と同様に、半導体薄膜 5 に照射される副ビーム 7 の幅が
15 $1 \mu m$ であるから、空間周波数は $1 / (0.001 \times 2) = 500$ (本/mm) となり、このときの $MTF = 0.37$ となる。MTF は像のコントラストを示しているので、このようにマスクパターンのスリット幅を調整すれば、半導体薄膜上に照射されるエネルギー密度も同時に調整されることになり、主ビーム 6 で半導体薄膜 5 の厚さ方向全体を溶融して、副ビーム 7 で半導体薄膜 5 を溶融させない程度に暖めることが可能である。

20 主ビーム 6 と副ビーム 7との間隔は、副ビーム 7 の幅を決定した理由と同様であり、本実施の形態では $1.0 \mu m$ とした。

マスクパターン (主または副ビーム形成用パターンの幅) は、上記半導体薄膜上でのビームサイズと結像レンズの倍率から決定する。本実施の形態においては、倍率 $1/4$ の結像レンズを用いたので、マスクパタ

ーンは上記半導体薄膜5上に照射されるビームサイズと比べて4倍の寸法になっている。

以上のような構成の製造装置を用いて、結晶化半導体薄膜を製造する。具体的には、本実施の形態では、レーザ光を上記半導体薄膜5に照射する際、上記主ビーム6と隣り合うように副ビーム7を照射することにより、結晶化半導体薄膜を製造している。

ここで、上記のように、レーザ光を半導体薄膜5に照射した場合の温度分布について説明する。

図5は、有限要素法による非定常熱伝導の計算結果を説明するグラフである。図5(a)～(d)は、時系列の温度プロファイルである。各グラフの横軸はレーザ照射領域中心部からの位置(距離)を示しており、縦軸は半導体薄膜の下面の温度を示している。図5(a)～(d)において、融点とは、本実施の形態で用いた半導体薄膜5を形成する材料である、アモルファスシリコンの融点を示している。図5(a)は半導体薄膜全体の温度が最も上昇する時刻である照射開始時刻から25ns後における温度プロファイルを示すグラフである。このとき、従来の結晶化方法(従来例)では、レーザ照射領域中心部から2.2μmの位置まで半導体薄膜が溶融しており、一方、本発明による結晶化方法では、レーザ照射領域中心部から2.4μmの位置まで半導体薄膜が溶融していることがわかる。すなわち、従来例では、半導体薄膜が全厚さ方向にわたって完全溶融している領域は4.4μm幅の領域であるのに対して、本発明による方法では、4.8μmとなる。なお、ここで説明している従来例とは、主ビーム6のみを半導体薄膜に照射する構成を示しており、具体的には、主ビーム6のエネルギー密度と、本実施の形態にかか

る主ビーム 6 のエネルギー密度とを同じ状態で、該主ビーム 6 のみを照射する構成である。

図 5 (b.) ~ (d.) は半導体薄膜が結晶化する（凝固する）過程の温度プロファイルを示しているグラフであり、それぞれ、照射開始時刻から 60 ns、70 ns、100 ns 後の温度プロファイルを示すグラフである。

本実施の形態にかかる結晶化半導体薄膜の製造方法は、いわゆるラテラル成長法と称するものである。このラテラル成長法について、以下に説明する。半導体薄膜にレーザ射光を照射すると、該半導体薄膜が融解されて、半導体薄膜が厚さ方向の全体にわたって完全に融解している領域と未溶融（未融解）領域との境界部分に無数の結晶核が形成され、レーザ照射領域中心部に向かって結晶が成長することとなる。また、レーザ照射領域中心部では、基板方向に熱の移動が生じるので、微細な結晶が形成される。そして、図 5 (a) ~ (d) に示すように、温度プロファイルのグラフから半導体薄膜の結晶化の進行状態が判定できるので、このようなラテラル成長の状態を判定することができる。なお、本実施の形態の説明において、厚さ方向とは、基板上に積層された半導体薄膜の厚さの方向を示しており、ラテラル成長方向とは、基板の面内方向を示している。

まず、図 5 (a) ~ (d) に示すような温度プロファイルのグラフに基づいて、従来例の結晶化について説明する。例えば、従来例では、図 5 (b) に示す温度プロファイルのグラフ、すなわち、時刻 60 nsにおいては、レーザ照射領域中心部の位置 0 から 1.8 μm までの間は、半導体薄膜の温度が、該半導体薄膜を構成している材料の融点以上にな

5 っている。すなわち、レーザ照射領域中心部の位置 0 から $1.8 \mu\text{m}$ までの間は、半導体薄膜が溶融している状態となっている。また、図 5 (a) に示す時刻 25 ns では、上記位置 0 から $2.2 \mu\text{m}$ まで溶融していることとなっている。従って、半導体薄膜にレーザ光を照射した時点
10 25 ns から 60 ns までの間において、レーザ照射領域中心部の位置 0 から $2.2 \mu\text{m}$ 離れた位置から、上記位置 0 から $1.8 \mu\text{m}$ 離れた位置までの $2.2 - 1.8 = 0.4 \mu\text{m}$ の領域では、融解していた半導体薄膜が結晶化することとなる。つまり上記 $0.4 \mu\text{m}$ の領域では結晶が形成されていることになる。ところが、図 5 (b) ~ (c) に示すように、半導体薄膜にレーザ光の照射を開始してから、 $60 \text{ ns} \sim 70 \text{ ns}$ の間に至る 10 ns といった極めて短い時間に、レーザ光を照射した領域の全領域が融点以下となる。

15 このとき、前述の通り、レーザ照射領域中心部においては、ラテラル成長方向でなく、基板法線方向に熱の移動が生じるために、ラテラル成長とはならず、微細な結晶となる。つまり、上記 10 ns の間に、融解している半導体薄膜は、急激に冷却されることとなり、融点以下となってしまう。従って、融解している半導体薄膜の領域では、上記 $0.4 \mu\text{m}$ の領域で生成した結晶が成長するより前に、融解している半導体薄膜の全領域に渡って、微細な結晶が多数生成することとなる。これにより
20 、従来例では、結晶の大きな結晶化半導体薄膜を得ることができない。

具体的には、従来例では、図 5 (b) ~ (c) に示すような、温度プロファイルのグラフからわかるように、ラテラル成長する範囲は融解した端（本従来例では、照射中心から $2.2 \mu\text{m}$ の位置）から中央方向へ $0.4 \mu\text{m}$ から $0.6 \mu\text{m}$ の長さのラテラル成長が生じ、レーザ照射領

21

域中心部から 1.6 ないし $1.8 \mu m$ の範囲は微結晶となる。なお、スリットの幅をこれ以上広くしても、その分、レーザ照射領域中心部付近の微結晶の領域が大きくなるだけで、ラテラル成長の長さはほとんど変わることはない。

本実施の形態の場合について詳細に説明する。本実施の形態にかかる結晶化半導体薄膜の製造方法では、半導体薄膜にレーザ光を照射した時点 25 ns から 60 ns までの間において、半導体薄膜の融解している領域の推移は、上記説明の従来例と同様である。従って、上記レーザ光を照射した時点 25 ns から 60 ns までの間では、 $2.4 - 1.8 = 0.6 \mu m$ 程度の結晶が生成されることとなる。次に、上記レーザ光を照射した時点から 60 ns 後から、 70 ns 後までの 10 ns 間において融解している半導体薄膜の領域は、図 5 (b)、(c) に示すように、レーザ照射領域中心部から $1.8 \mu m$ 離れた位置から、該中心部から $1.6 \mu m$ 離れた位置まで推移（移動）することとなる。つまり、上記 10 ns 間においては、 $1.8 - 1.6 = 0.2 \mu m$ の領域だけが新たに半導体薄膜の融点以下となる部分となる。従って、この部分では、半導体薄膜の結晶化が起こることになる。この場合、上記 $0.2 \mu m$ の領域では、新たに微結晶が生成するよりも、レーザ照射領域中心部から $1.8 \mu m$ 離れた位置にすでに生成している結晶を種結晶として結晶の成長が起こる。これは、従来例の場合と異なり、新たに結晶化される領域に種結晶の存在している位置が近いために、新たに微結晶が生成するよりも、既に存在している種結晶を中心として該種結晶が成長することとなる。

また、上記レーザ光を照射した時点から 70 ns 後から、 100 ns

後までの 30 ns 間において、融解している半導体薄膜の領域は、図 5 (c)、(d) に示すように、レーザ照射領域中心部から 1. 6 μ m 離れた位置から、該中心部から 1. 5 μ m 離れた位置まで推移（移動）することとなる。そして、この 30 ns の間に融点以下となつた。1. 6 - 1. 5 = 0. 1 μ m の領域においても、上記説明した理由により、既に生成している結晶を成長させることとなる。

従つて、図 5 (d) に示すレーザ光照射開始時点から 100 ns 後において、レーザ照射領域中心部から 1. 5 μ m 離れた場所が融点以下になり、この部分の結晶化が始まる。このとき、結晶のラテラル成長の長さは、図 5 (a) 及び (d) より、2. 4 - 1. 5 = 0. 9 μ m となる。従つて、本実施の形態にかかる結晶化半導体薄膜の製造方法では、従来例と比べて、成長する結晶のラテラル成長方向の長さが、従来例よりも 50 ~ 125 % 増加する。換言すると、本実施の形態にかかる結晶化半導体薄膜の製造方法は、従来例と比べて、結晶のラテラル成長方向の長さを 1. 5 ~ 2. 25 倍にすることができる。

以上のように、有限要素法による非定常熱伝導の計算結果によると、本実施の形態にかかる結晶化半導体薄膜の製造方法を用いると、従来よりも、結晶のラテラル成長方向の長さを伸ばすことができることがわかる。

そして、上記説明した作用・効果を実証するために、実際に半導体薄膜にレーザを照射して結晶化実験を行うと、上記説明とほぼ同等の効果が得られた。つまり、本実施の形態にかかる結晶化半導体薄膜の製造方法を用いることにより、副ビーム 7 を主ビーム 6 と隣り合うように照射することにより、半導体薄膜の温度変化を緩やかにできるの

で、結晶化半導体薄膜における結晶のラテラル成長距離を拡大することができる。

以上のように、本実施の形態にかかる結晶化半導体薄膜の製造方法は、融解された半導体薄膜5の温度分布において、融解している半導体薄膜5の融点付近となる位置が時間と共に移動することに着目して、上記半導体薄膜5の融点付近となる位置の外側（本実施例では、主ビーム中心から4～5μmの距離）を副ビーム7で加熱することにより、該融点となる半導体薄膜5の位置の移動を遅くするものである。融解している半導体薄膜5は、その温度が融点以下になると結晶化することとなる。

このとき、結晶化の速度を遅くする（結晶化の領域を狭くする）ことにより、生成する結晶、具体的には、結晶のラテラル成長方向の距離を大きくすることができる。本実施の形態にかかる結晶化半導体薄膜の製造方法では、主ビーム6で融解させた半導体薄膜5の、結晶化が始まる部分（領域）の外側を副ビーム7により加熱することにより、一度に結晶化する領域を狭くしている。これにより、微結晶が生成する割合よりも、既に存在している種結晶を中心として結晶成長する割合を、従来と比べて高くしている。従って、従来よりも結晶が大きい結晶化半導体薄膜を製造することができる。

なお、上記説明では、主ビーム6と副ビーム7とをある一定の距離を隔てて隣り合うように、半導体薄膜5に照射する構成について説明した。しかしながら、本実施の形態にかかる結晶化半導体薄膜の製造方法においては、例えば、レーザ発振器から基板上に至る光路を分岐させた場合や、2つのレーザ照射手段を用いた場合には、主ビーム6と副ビーム7との一部が重なるような状態で隣り合うように、半導体薄膜5に上記

2つのビームを照射するようになっていてもよい。ただし、主ビーム6と副ビーム7とが完全に重なることはない。また、上記半導体薄膜5に照射する主ビーム6と副ビーム7との間隔としては、上記半導体薄膜5に照射される主ビーム6の幅が3～15μmの範囲内である場合には、
5 例えれば、1～8μmの範囲内がより好ましく、2～6μmの範囲内がさらに好ましい。上記間隔を上記範囲内とすることにより、より一層、生成する結晶の大きさ（結晶の粒径）を大きくすることができる。

また、上記の説明では、エネルギー ビームとして、レーザ光を用いる構成について説明したが、本発明のエネルギー ビームは、上記に限定されるものではなく、例えれば、電子ビーム等を用いてもよい。
10

〔実施の形態2〕

本発明の他の実施の形態について図6ないし図8に基づいて説明すれば、以下の通りである。

本実施の形態では、二台のレーザ照射装置を用いて、主ビーム6と副ビーム7の照射タイミングを調整することによって、さらにラテラル成長距離を伸ばすことが可能である。
15

具体的には、本実施の形態にかかる結晶化半導体薄膜の製造装置は、主エネルギー ビーム6をパルス照射する第1ビーム照射部と、上記第1ビーム照射部から照射される主エネルギー ビーム6のパターンを形成する第1のマスクと、単位面積あたりのエネルギーが上記主エネルギー ビーム6よりも小さくかつ半導体薄膜が溶融するエネルギーのしきい値より低い副エネルギー ビーム7を照射する第2ビーム照射部と、上記第2ビーム照射部から照射される副エネルギー ビーム7のパターンを形成する第2のマスクと、上記第1のマスクと第2のマスクとによりそれぞれ

形成されたパターンを、半導体薄膜上に結像する結像レンズとを備え、上記第1のマスクと第2のマスクとは、副エネルギーbeam 7が、主エネルギーbeam 6と隣り合うように半導体薄膜上に照射されるパターンを形成するようになっている構成である。なお、説明の便宜上、上記実施の形態1にて示した各部材と同一の機能を有する部材には、同一の符号を付記し、その説明を省略する。具体的には、本実施の形態においては、上記の実施の形態1と同様の半導体薄膜を使用している。そして、その他各層（基板等）の構成も実施の形態1と同一としている。

本実施の形態にかかる結晶化半導体薄膜の製造装置において、図6に示すように、第1のレーザ発振器（第1ビーム照射部）31から半導体薄膜5を有する基板44上に至る第1のレーザ光路、および、第2のレーザ発振器（第2ビーム照射部）32から上記基板44上に至る第2のレーザ光路を構成する光学部品、すなわち、可変減衰器（33、34）、ビーム整形素子（35、36）、マスク面均一照明素子（38、39）、マスク（40、41；調節手段）の構成は、それぞれ、図2に示す、実施の形態1にかかる製造装置の可変減衰器63、ビーム整形素子64、マスク面均一照明素子65、フィールドレンズ66、マスク67と同様である。また、本実施の形態にかかる製造装置は、上記の他に、ビームスプリッタ42およびパルスジェネレータ（制御手段）45を備えている。また、上記第1のレーザ光路および第2のレーザ光路を構成する光学部品（ビームスプリッタ42および結像レンズ43を含む）等によりエネルギー照射手段が構成されている。

上記第1のレーザ光路では主ビーム6が形成され、第2のレーザ光路では副ビーム7が形成される。そして、ビームスプリッタ42によって

、上記第1のレーザ光路と、上記第2のレーザ光路が結合される。そして、結像レンズ43で、第1のレーザ光路と第2のレーザ光路とから照射されたレーザ光を併せて、半導体薄膜5に照射するようになっている。

5 パルスジェネレータ45は、レーザ発振器の発振タイミングを制御するために用いられる。いずれのレーザ発振器31、32もパルスジェネレータ45から制御パルスが入力されると、遅延なくパルスレーザが照射されるように構成している。そして、上記パルスジェネレータ45は、第1のレーザ発振器31と第2のレーザ発振器32とから照射される10パルスレーザの照射タイミングを制御することができる。

また、本実施の形態では、それぞれのレーザ発振器31、32から照射されるレーザ光のエネルギー（エネルギー密度）の調整は個々のレーザ光で独立して行えるように構成している。具体的には、第一の可変減衰器33、第二可変減衰器34または、第1のマスク40、第2のマスク41に形成するパターン形状等により、それぞれ別個にレーザ光のエネルギー密度を調整することができる。

レーザ発振器31、32から照射されるレーザ光（パルスレーザ）の波長は、いずれのレーザ光も308nmに設定している。

第1のマスク40と第2のマスク41とは、順に主ビーム6、副ビーム7を形成するために用いられる。図7は本実施の形態にかかる結晶化半導体薄膜の製造装置に用いるマスク、具体的には、マスクに形成されたパターンの構成を示す正面図である。主ビーム6を形成する第1のマスク40は、図7(a)に示すように、所定の幅を有するスリットが3本形成されている。また、副ビーム7を形成する第2のマスク41は、

図 7 (b) に示すように、上記主ビーム 6 よりも幅の小さいスリットが 6 本形成されている。なお、この図面では、主ビーム 6 と副ビーム 7 のマスクパターン群が 3 組設けられている。従って、1 つの主ビーム 6 と副ビーム 7 と (1 組) に対応するマスクパターンは、1 本の主ビーム 5 形成用パターン 5 1 と該パターンと一定の距離を隔てて隣り合っている 2 本の副ビーム形成用パターン 5 2 である。本実施の形態では、各マスク 4 0、4 1 に形成されたパターンの寸法は実施の形態 1 と同一に設定している。

半導体薄膜 5 上に照射されるレーザ光のエネルギー密度は、実施の形態 1 と同様にマスクパターンの寸法によって調整されるが、個々のレーザ発振器 3 1、3 2 や個々の可変減衰器 3 3、3 4 でさらに詳細に調整することも可能である。レーザ光 (パルスビーム) を照射するタイミングは、副ビーム 7 による保温的な効果が発現するように設定する。すなわち、副ビーム 7 によって半導体薄膜 5 が保温されている間に主ビーム 6 を照射する。具体的には、図 8 に示すように、副ビーム 7 の時間変化曲線において、副ビーム 7 の出力が最大になる時間 t_2 に薄膜の温度もほぼ最大になるので、このときに主ビーム 6 を照射するように構成している。

本実施の形態の構成とすることによっても、実施の形態 1 と同様なシミュレーション結果が得られることが分かる。そして、実際に半導体薄膜 5 にレーザを照射して結晶化実験を行うと、上記シミュレーション結果とほぼ同等の効果が得られた。

本実施の形態においては、副ビーム 7 を主ビーム 6 と隣り合うように照射するようになっている。これについては、例えば、①主ビーム 6 と

副ビーム 7 とを完全に同期させて照射する、②予め副ビーム 7 を照射しておき、該副ビーム 7 が照射されている間に、主ビーム 6 を該副ビーム 7 と隣り合うように照射する、③予め主ビーム 6 を照射しておき、該主ビーム 6 が照射されている間に、副ビーム 7 を該主ビーム 6 と隣り合うように照射する等の方法によって照射すればよい。上記例示の照射方法のうち、半導体薄膜 5 を予め融解しない程度に加熱することができる点で、上記②の方法がより好ましい。そして、特に、副ビーム 7 の半導体薄膜 5 の面におけるエネルギー密度が最大付近になるタイミング、最も好ましくは最大になるタイミングで、主ビーム 6 の照射を開始することが好適である。

上記半導体薄膜 5 を予め該半導体薄膜 5 が融解しない程度に加熱しておくことにより、半導体薄膜 5 を早く融解させることができるとともに、融解させた半導体薄膜 5 の領域の周囲を暖めておくことができるので、該融解した半導体薄膜 5 をゆっくりと結晶化させることができる。これにより、生成する結晶化半導体薄膜の結晶の大きさ（針状結晶の長さ）を、従来と比べてさらに大きくすることができる。

[実施の形態 3]

本発明の他の実施の形態について説明すれば、以下の通りである。なお、説明の便宜上、上記実施の形態 1 および 2 にて示した各部材と同一の機能を有する部材には、同一の符号を付記し、その説明を省略する。

本実施の形態は、波長の異なる二台のレーザ光を用いて、主ビーム 6 と副ビーム 7 の照射タイミングを調整することによって、さらにラテラル成長距離を伸ばす構成である。本実施の形態においては、上記実施の形態 1 と同様の基板を使用している。

また、本実施の形態にかかる結晶化半導体薄膜の製造装置は、基本的に上記実施の形態2と同様であるが、副ビーム7を形成するための第2のレーザ発振器32には、波長532nmのYAGレーザを用いている。

5 そして、主ビーム6と副ビーム7の寸法関係は、実施の形態2と同様に設定している。また、レーザ光（パルスレーザ）を照射するタイミング、各レーザ光のエネルギー密度の調整等も上記実施の形態2と同様に設定している。

本実施の形態では、副ビーム7を形成するレーザの波長を532nmに設定している。この理由について、以下に説明する。主ビーム6を形成するレーザ光としては、本実施の形態にかかる半導体薄膜5を形成しているアモルファスシリコンに対して、光透過率が低く、かつ、浸透深さの浅いものが好適である。一方、副ビーム7を形成するレーザ光は浸透深さが大きいものが好適である。ところで、強度 I_0 の光が物質に入射したとき、入射表面から距離dの位置での強度Iは、 $I = I_0 e^{-\alpha d}$ と表される。ただし、 α は吸収係数である。具体的には、アモルファスシリコンに対して、波長308nmの光の吸収係数を $1.2 \times 10^6 \text{ cm}^{-1}$ 、波長532nmの光の吸収係数を $2.0 \times 10^5 \text{ cm}^{-1}$ とする。上式により、例えば、 $I/I_0 < 0.01$ となるdの値を求めると、波長308nmの光の場合40nm、波長532nmの光の場合235nmとなる。本実施の形態において、アモルファスシリコンからなる半導体薄膜5の厚さは50nmに設定しているので、波長308nmの光はほとんど半導体薄膜5で吸収されるが、波長532nmの光は、多くが半導体薄膜5を透過し、その下層、例えば、バッファ層4

や、高熱伝導性絶縁膜3等に到達することとなる。従って、副ビーム7による保温的な効果は、半導体薄膜5での吸収係数が小さく、かつ、浸透深さの深い532nmのレーザ光で行うほうが、より深い場所まで一様に温度を上昇させることができる。副ビーム7は、融解した半導体薄膜5の融点付近での急激な温度変化を防止するために照射するので、該副ビーム7として波長532nmのレーザ光を照射することは上記目的を達成するためにはより好適である。なお、主ビーム6を形成するレーザ光として、532nmのものを用いることも可能であるが、該主ビーム6はエネルギー密度が高いので、浸透深さが深くなるように照射する場合には、ガラス基板を含む半導体薄膜5の下層膜へ損傷を及ぼさないように注意が必要である。

本実施の形態の構成とすることによっても、実施の形態1と同様なシミュレーション結果が得られることが分かる。そして、実際に半導体薄膜にレーザを照射して結晶化実験を行うと、上記シミュレーション結果とほぼ同等の効果が得られた。すなわち、ラテラル成長方向の距離が従来よりも長い結晶化半導体薄膜を製造することができる。

なお、いずれの実施の形態においても、マスクの光透過部（マスクのパターン）の形状を矩形のスリットとして説明したが、パターンの形状はこれに限定されることなく、例えば、メッシュ形状、鋸歯形状、波状など種々のスリット状の形状を採用することができる。

また、2つの光路を合成する場合、一般にビームスプリッタを用いるが、同一波長のレーザ光では、光利用効率が50%となる。しかしながら、本実施の形態では、波長の異なるレーザ光を用いているので、ビームスプリッタを最適設計することにより、光利用効率を50%以上にす

ることができる。

また、本発明にかかる結晶化半導体薄膜の製造方法は、パルス放射する微細幅のスリット状のエネルギービームを半導体薄膜5に照射して、該エネルギービームの照射領域における上記半導体薄膜5を厚さ方向全5域にわたって溶融、凝固させて結晶化を行う結晶化半導体薄膜の製造方法であって、上記半導体薄膜5には、主ビーム6と、主ビーム6よりも小さいエネルギー密度を有し、かつ上記主ビーム6と隣り合うように副ビーム7を照射する方法であってもよい。

また、本発明にかかる結晶化半導体薄膜の製造方法は、上記半導体薄膜5に上記副ビーム7を照射を開始した後、上記副ビーム7以上のエネルギー密度を有する主ビーム6を、上記副ビーム7の半導体薄膜5の表面におけるエネルギー密度が最大になるタイミングで照射を開始する方法であってもよい。

また、本発明にかかる結晶化半導体薄膜の製造方法は、上記主ビーム15 6と上記副ビーム7の波長が異なるようにエネルギービーム照射する方法であってもよい。

また、本発明にかかる結晶化半導体薄膜の製造方法は、上記半導体薄膜5の下層に、窒化アルミニウム、窒化シリコン、酸化アルミニウム、酸化マグネシウムおよび酸化セリウムからなる群より選ばれる少なくとも1種類の化合物を含む高熱伝導性絶縁膜3が形成されている構成であってもよい。

また、本発明にかかる結晶化半導体薄膜の製造装置は、少なくともレーザ光61と、マスク67と、結像レンズ68を備え、マスク像を半導体薄膜5上に結像して、上記半導体薄膜5を溶融、凝固させるように構

成した結晶化半導体薄膜の製造装置であって、上記マスク 6 7 には、主ビーム 6 を構成するパターンに隣り合うように副ビーム 7 を形成するパターンが形成された構成であってもよい。

また、本発明にかかる結晶化半導体薄膜の製造装置は、パルス放射する第 1 のレーザ発振器 3 1 と、第 1 のマスク 4 0 と、第 2 のレーザ発振器 3 2 と、第 2 のマスク 4 1 と、結像レンズ 4 3 を備え、上記第 1 のマスク 4 0 による像が上記主ビーム 6 を形成し、上記第 2 のマスク 4 1 による像が上記副ビーム 7 を形成するように構成されていてもよい。

また、本発明にかかる結晶化半導体薄膜の製造装置は、上記第 2 のレーザ発振器 3 2 からの放射した光と、上記第 1 のレーザ発振器 3 1 との光とを、タイミングをずらせて照射できる制御装置と、第 1 のレーザ発振器 3 1 からのエネルギー密度と、上記第 2 のレーザ発振器 3 2 からのエネルギー密度を個別に調整可能な制御装置を備えた構成としてもよい。

また、本発明にかかる結晶化半導体薄膜の製造装置は、上記第 1 のレーザ発振器 3 1 と上記第 2 のレーザ発振器 3 2 は異なる波長の光を射する構成となっていてもよい。

本発明にかかる結晶化半導体薄膜の製造方法は、以上のように、主エネルギービームと、単位面積あたりのエネルギーが該主エネルギービームよりも小さくかつ半導体薄膜が溶融するエネルギーのしきい値より低い副エネルギービームとを、基板上に形成された半導体薄膜に、パルス照射することにより該半導体薄膜を厚さ方向の全域にわたって溶融させて、その後結晶化させることにより結晶化半導体薄膜を製造する結晶化半導体薄膜の製造方法であって、上記主エネルギービームと隣り合うよ

うに副エネルギー ビームを照射する構成である。

上記の構成によれば、主エネルギー ビームと隣り合うように、副エネルギー ビームを照射するようになっている。一般に、主エネルギー ビームのパルス照射によって、融解された半導体薄膜は、周囲から結晶化することになる。このとき、本発明では、この融解された半導体薄膜の周囲に、上記主エネルギー ビームよりも、単位面積あたりのエネルギーの小さい副エネルギー ビームを、上記主エネルギー ビームと隣り合うように照射するようになっている。そして、上記副エネルギー ビームの単位面積あたりのエネルギーは、半導体薄膜が溶融するエネルギーのしきい値よりも低く設定されている。これにより、融解された半導体薄膜は、従来と比べて、遅い冷却速度で冷却されることとなる。つまり、溶融された半導体薄膜が、結晶化する際、徐々に結晶化することとなる。これにより、結晶化半導体薄膜の結晶の大きさを従来と比べて、大きくすることができる。なお、上記主エネルギー ビームは、半導体薄膜を溶融させることができる。つまり、主エネルギー ビームの単位面積あたりのエネルギーは、半導体薄膜が溶融するエネルギーのしきい値よりも高く設定されている。つまり、上記の構成とすることにより、半導体薄膜における溶融領域を精密に制御することに加えて、溶融した半導体薄膜の結晶化の速度（凝固）の制御も行うことができる。

従って、半導体薄膜へ与えるエネルギーの空間的温度分布を変化させることができ、凝固（結晶化）時の時間的、空間的温度変化を緩やかにしているので、その結果、ラテラル成長法によって形成される針状結晶（半導体薄膜を構成する材料からなる結晶）の長さ（ラテラル成長距離）を伸長することが可能になる。

また、主ビームと隣り合うように副ビームを照射することにより、例えば、複数のエネルギーの異なるパルスレーザを同一箇所に複数照射して、半導体薄膜を結晶化させる構成等と比べて、短時間で結晶化半導体薄膜を製造することができる。これにより、従来と比べて、結晶化半導体薄膜の製造効率がよい。

本発明にかかる結晶化半導体薄膜の製造方法は、上記主エネルギー ビームの照射を、半導体薄膜面における副エネルギー ビームの照射による、単位面積あたりのエネルギーが最大になった時点で開始する構成とすることがより好ましい。

上記の構成によれば、主エネルギー ビームを、副エネルギー ビームの照射を開始して、半導体薄膜面における単位面積あたりのエネルギーが最大になった時点で照射するようになっている。

これにより、半導体薄膜の空間的温度分布を最適化することができて、半導体薄膜の結晶化時（凝固時）の時間的、空間的温度変化も最適化できるので、その結果、ラテラル成長法によって形成される針状結晶の長さをさらに伸長することが可能になる。

本発明にかかる結晶化半導体薄膜の製造方法は、上記主エネルギー ビームと副エネルギー ビームとの波長を互いに異ならせる構成とすることがより好ましい。

上記の構成によれば、主エネルギー ビームと副エネルギー ビームとの波長を互いに異ならせるように半導体薄膜に照射するようになっている。つまり、互いに異なる2つのエネルギー ビームの経路（光路）を利用して、半導体薄膜にエネルギー ビームを照射するようになっている。これにより、2つの光路を合成して半導体薄膜に照射する際に、エネルギー

一ビームの利用効率を向上させることができるので、より効率的に半導体薄膜を融解させた後、再結晶化することが可能になる。

本発明にかかる結晶化半導体薄膜の製造方法は、上記基板は、該基板と半導体薄膜との間に、熱伝導性絶縁膜が形成されているとともに、上記熱伝導性絶縁膜は、窒化アルミニウム、窒化シリコン、酸化アルミニウム、酸化マグネシウムおよび酸化セリウムから選択される少なくとも1種類の材料によって形成されている構成とすることがより好ましい。

上記の構成によれば、基板と半導体薄膜との間に、熱伝導性絶縁膜を設けることにより、基板に対して照射されたエネルギー ビームによる熱を半導体薄膜の水平方向に早く伝えることができるので、水平方向への結晶成長（ラテラル成長）を促進することができる。つまり、結晶化する方向を水平方向に誘導することができるので、より大きな結晶で構成された結晶化半導体薄膜を製造することができる。

本発明にかかる結晶化半導体薄膜の製造装置は、以上のように、主エネルギー ビームと、単位面積あたりのエネルギーが該主エネルギー ビームよりも小さくかつ半導体薄膜が溶融するエネルギーのしきい値より低い副エネルギー ビームとを、基板上に形成された半導体薄膜に対してパルス照射するエネルギー ビーム照射手段を備えた、結晶化半導体薄膜の製造装置であって、上記エネルギー ビーム照射手段は、上記副エネルギー ビームを、主エネルギー ビームと隣り合うように照射するようになっている構成である。

上記の構成によれば、上記エネルギー ビーム照射手段は、上記副エネルギー ビームを、主エネルギー ビームと隣り合うように照射するようになっている。これにより、主ビームに対して、副ビームを隣り合うよう

に、半導体薄膜に照射することができるので、ラテラル成長距離の大きな結晶を有する結晶化半導体薄膜を製造する製造装置を提供することができる。

本発明にかかる結晶化半導体薄膜の製造装置は、上記エネルギー一
5 ム照射手段は、半導体薄膜に照射される上記主エネルギー一ビームと副エ
ネルギービームとのパターンを形成するマスクと、上記マスクを透過し
た上記主エネルギー一ビームと副エネルギー一ビームとを半導体薄膜上に結
像する結像レンズとを備え、上記マスクは、主エネルギー一ビームのパタ
ーンと隣り合うように、副エネルギー一ビームのパターンが形成されてい
10 る構成がより好ましい。

上記の構成によれば、マスクのパターン形状によって、上記副エネルギー
ギービームを、主エネルギー一ビームと隣り合うように照射するようにな
っている。従って、例えば、マスクのパターン形状を変えることにより
、主エネルギー一ビームと副エネルギー一ビームとの形状を簡単に変える
15 ことができるので、エネルギー一ビームの最適化をより簡単に行うことがで
きる。

本発明にかかる結晶化半導体薄膜の製造装置は、以上のように、主エ
ネルギービームをパルス照射する第1ビーム照射部と、上記第1ビーム
照射部から照射される主エネルギー一ビームのパターンを形成する第1の
マスクと、単位面積あたりのエネルギーが上記主エネルギー一ビームよりも
20 小さくかつ半導体薄膜が溶融するエネルギーのしきい値より低い副エ
ネルギービームを照射する第2ビーム照射部と、上記第2ビーム照射部
から照射される副エネルギー一ビームのパターンを形成する第2のマスク
と、上記第1のマスクと第2のマスクとによりそれぞれ形成されたパタ

ーンを、半導体薄膜上に結像する結像レンズとを備え、上記第1のマスクと第2のマスクとは、副エネルギーbeamが、主エネルギーbeamと隣り合うように半導体薄膜上に照射されるパターンを形成するようになっている構成である。

5 上記の構成によれば、2つのエネルギーbeam照射手段を用いて、上記副エネルギーbeamを、主エネルギーbeamと隣り合うように照射するようになっている。これにより、主beamに対して、副beamを隣り合うように、半導体薄膜に照射することができるので、ラテラル成長距離の大きな結晶を有する結晶化半導体薄膜を製造する製造装置を提供することができる。また、2つのエネルギーbeam照射手段を用いることにより、例えば、互いに波長の異なるエネルギーbeam等を簡単に作り出すことができる。

10 本発明にかかる結晶化半導体薄膜の製造装置は、上記第1beam照射部からの主エネルギーbeamの照射と、第2beam照射部からの副エネルギーbeamの照射との照射タイミングを制御する制御手段と、上記第1beam照射部からの主エネルギーbeamの単位面積あたりのエネルギーと、上記第2beam照射部からの副エネルギーbeamの単位面積あたりのエネルギーとを個別に調節可能な調節手段とを備える構成がより好ましい。

15 上記の構成によれば、エネルギーbeamの照射タイミングとエネルギーとを別個に調整するようになっているので、エネルギーbeamの利用効率を上げることができる。

本発明にかかる結晶化半導体薄膜の製造装置は、上記第1beam照射部および第2beam照射部は、互いに波長の異なるエネルギーbeamを

照射するようになっている構成がより好ましい。

上記の構成によれば、波長の異なるエネルギー ビームを用いて、結晶化半導体を製造するようになっている。これにより、例えば、レーザ光等のエネルギー ビームの利用効率を向上させることができるので、再結晶化の効率をより高めることが可能になる。

なお、上記の説明では、エネルギー ビーム（レーザ光）をパルス照射する例について説明しているが、例えば、上記エネルギー ビームを連続的上記基板に対して照射してもよい。

尚、発明を実施するための最良の形態の項においてなした具体的な実施態様または実施例は、あくまでも、本発明の技術内容を明らかにするものであって、そのような具体例にのみ限定して狭義に解釈されるべきものではなく、本発明の精神と次に記載する特許請求の範囲内で、いろいろと変更して実施することができるものである。

5 産業上の利用の可能性

本発明にかかる結晶化半導体薄膜の製造方法および製造装置は、エネルギー ビーム、特にレーザ光を利用して結晶化半導体薄膜を製造する結晶化半導体薄膜の製造方法、及び、製造装置として好適に使用される。

請求の範囲

1. 主エネルギービームと、単位面積あたりのエネルギーが該主エネルギービームよりも小さくかつ半導体薄膜が溶融するエネルギーのしきい値より低い副エネルギービームとを、基板上に形成された半導体薄膜に照射することにより該半導体薄膜を厚さ方向の全域にわたって溶融させて、その後結晶化させることにより結晶化半導体薄膜を製造する結晶化半導体薄膜の製造方法であって、

10 上記主エネルギービームと隣り合うように副エネルギービームを照射することを特徴とする結晶化半導体薄膜の製造方法。

2. 上記主エネルギービームおよび／または副エネルギービームを半導体薄膜にパルス照射することを特徴とする請求項1記載の結晶化半導体薄膜の製造方法。

15 3. 上記主エネルギービームの照射を、半導体薄膜面における副エネルギービームの照射による、単位面積あたりのエネルギーが最大になった時点で開始することを特徴とする請求項1記載の結晶化半導体薄膜の製造方法。

4. 上記主エネルギービームと副エネルギービームとの波長を互いに異ならせて照射することを特徴とする請求項1に記載の結晶化半導体薄膜の製造方法。

10 5. 上記主エネルギービームとして波長532nmのレーザ光を上記半導体薄膜に照射し、上記副エネルギービームとして波長308nmのレーザ光を上記半導体薄膜に照射することを特徴とする請求項4記載の結晶化半導体薄膜の製造方法。

6. 上記基板は、該基板と半導体薄膜との間に、熱伝導性絶縁膜が形成されているとともに、

上記熱伝導性絶縁膜は、窒化アルミニウム、窒化シリコン、酸化アルミニウム、酸化マグネシウムおよび酸化セリウムから選択される少なくとも1種類の材料によって形成されていることを特徴とする請求項1に記載の結晶化半導体薄膜の製造方法。

7. 主エネルギービームと、単位面積あたりのエネルギーが該主エネルギービームよりも小さくかつ半導体薄膜が溶融するエネルギーのしきい値より低い副エネルギービームとを、基板上に形成された半導体薄膜に対してパルス照射するエネルギービーム照射手段を備えた、結晶化半導体薄膜の製造装置であって、

上記エネルギービーム照射手段は、上記副エネルギービームを、主エネルギービームと隣り合うように照射するようになっていることを特徴とする結晶化半導体薄膜の製造装置。

8. 上記エネルギービーム照射手段は、半導体薄膜に照射される上記主エネルギービームと副エネルギービームとのパターンを形成するマスクと、

上記マスクを透過した上記主エネルギービームと副エネルギービームとを半導体薄膜上に結像する結像レンズとを備え、

上記マスクには、主エネルギービームのパターンと、該主エネルギービームのパターンと隣り合うように副エネルギービームのパターンとが形成されていることを特徴とする請求項7記載の結晶化半導体薄膜の製造装置。

9. 上記エネルギービーム照射手段は、上記主エネルギービームおよ

び／または上記副エネルギー ビームをパルス照射するものであることを特徴とする請求項 7 記載の結晶化半導体薄膜の製造装置。

10. 上記エネルギー ビーム照射手段は、レーザ光を照射するものであることを特徴とする請求項 7 に記載の結晶化半導体薄膜の製造装置。

5 11. 主エネルギー ビームを照射する第 1 ビーム照射部と、

上記第 1 ビーム照射部から照射される主エネルギー ビームのパターンを形成する第 1 のマスクと、

単位面積あたりのエネルギーが上記主エネルギー ビームよりも小さくかつ半導体薄膜が溶融するエネルギーのしきい値より低い副エネルギー
10 ビームを照射する第 2 ビーム照射部と、

上記第 2 ビーム照射部から照射される副エネルギー ビームのパターンを形成する第 2 のマスクと、

上記第 1 のマスクと第 2 のマスクとによりそれぞれ形成されたパターンを、半導体薄膜上に結像する結像レンズとを備え、

5 上記第 1 のマスクと第 2 のマスクとは、副エネルギー ビームが、主エネルギー ビームと隣り合うように半導体薄膜上に照射されるパターンを形成するようになっていることを特徴とする結晶化半導体薄膜の製造装置。

12. 上記第 1 ビーム照射部からの主エネルギー ビームの照射と、第
0 2 ビーム照射部からの副エネルギー ビームの照射との照射タイミングを制御する制御手段と、

上記第 1 ビーム照射部からの主エネルギー ビームの単位面積あたりのエネルギーと、上記第 2 ビーム照射部からの副エネルギー ビームの単位面積あたりのエネルギーとを個別に調節可能な調節手段とを備えること

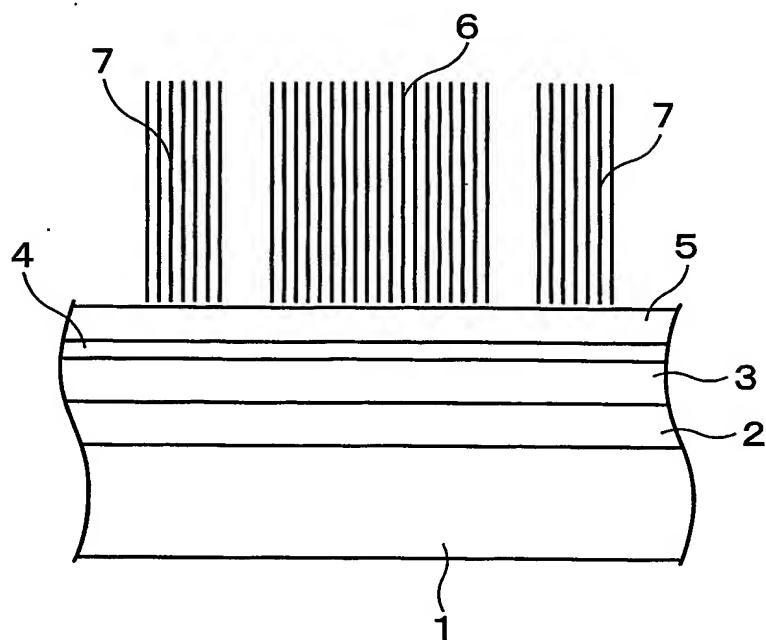
を特徴とする請求項 1 1 記載の結晶化半導体薄膜の製造装置。

13. 上記第 1 ビーム照射部および第 2 ビーム照射部は、互いに波長の異なるエネルギー ビームを照射するものであることを特徴とする請求項 1 1 記載の結晶化半導体薄膜の製造装置。

5 14. 上記上記第 1 ビーム照射部および／または第 2 ビーム照射部は、エネルギー ビームをパルス照射するものであることを特徴とする請求項 1 1 に記載の結晶化半導体薄膜の製造装置。

1/8

図1



2/8

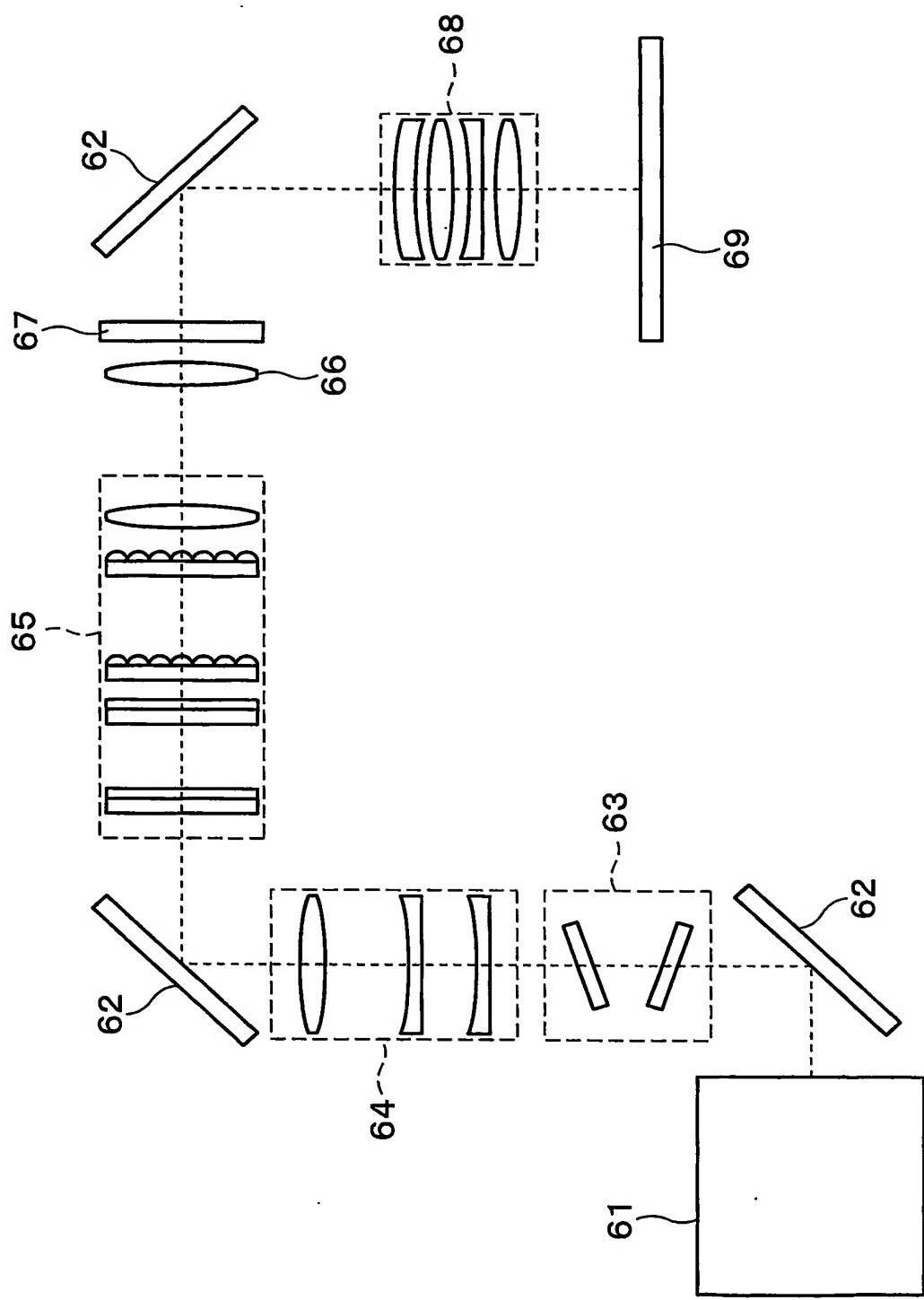


図2

3/8

図3

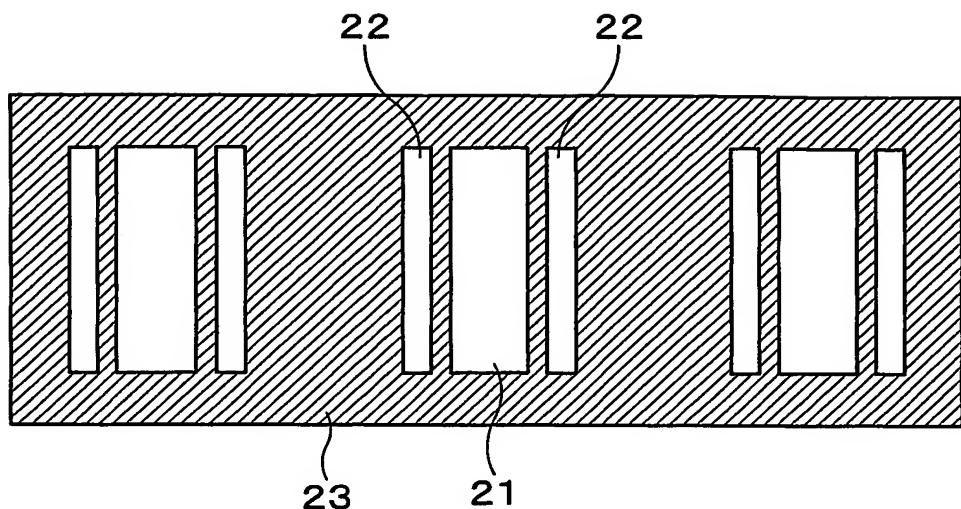
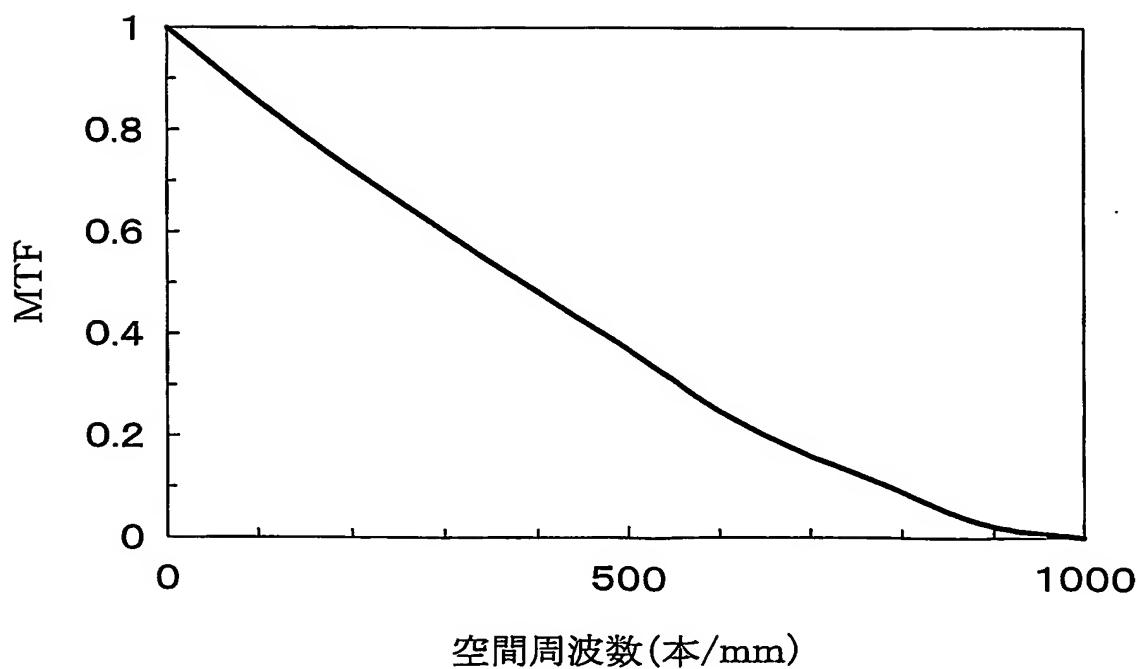


図4



4/8

図5 (a)

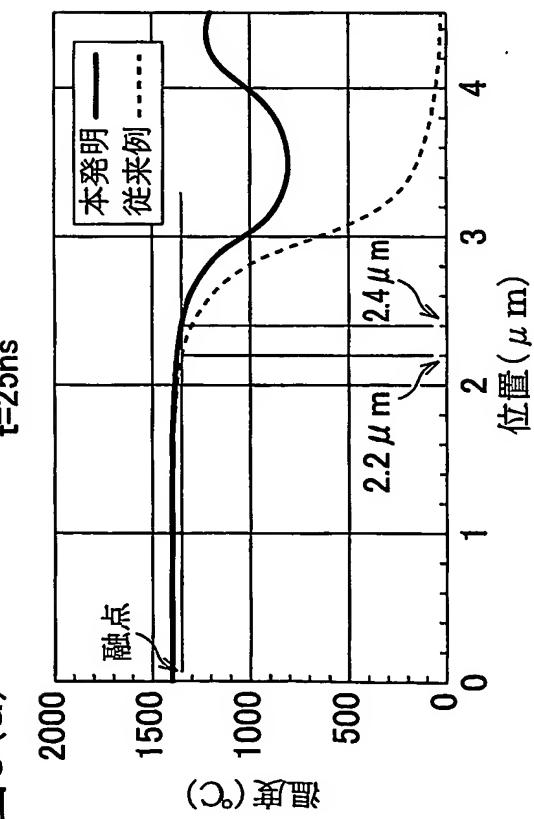


図5 (c)

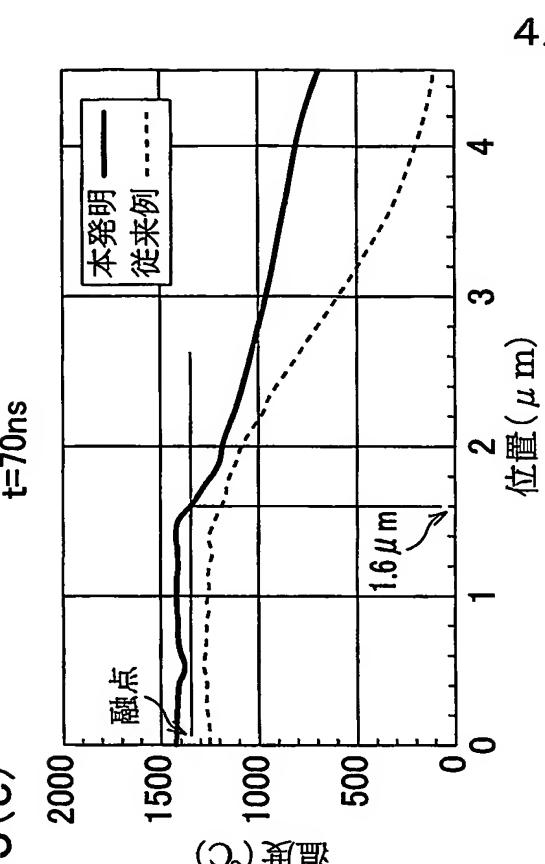


図5 (b)

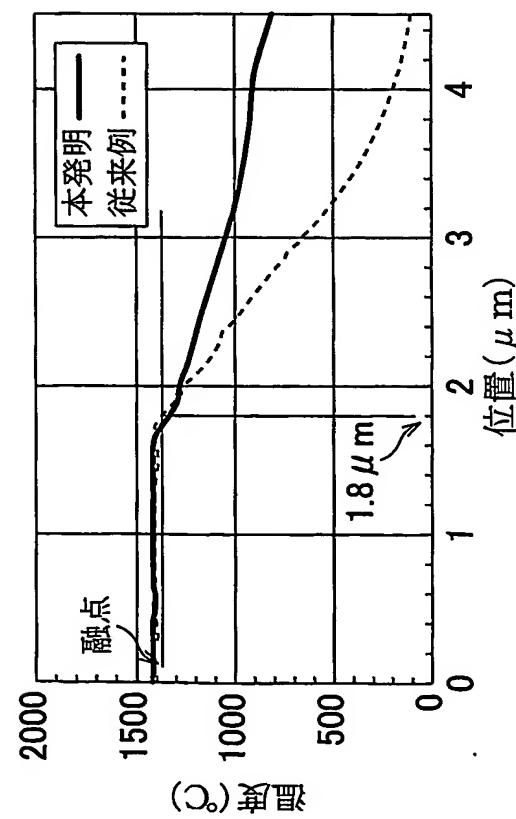
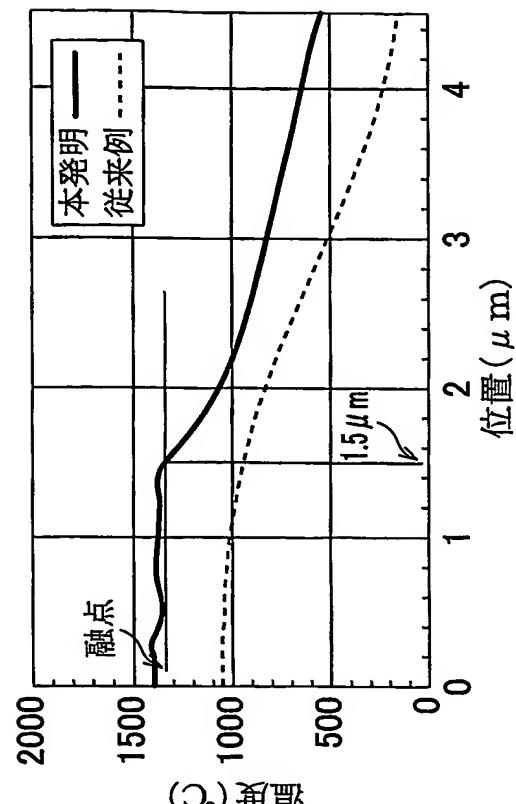
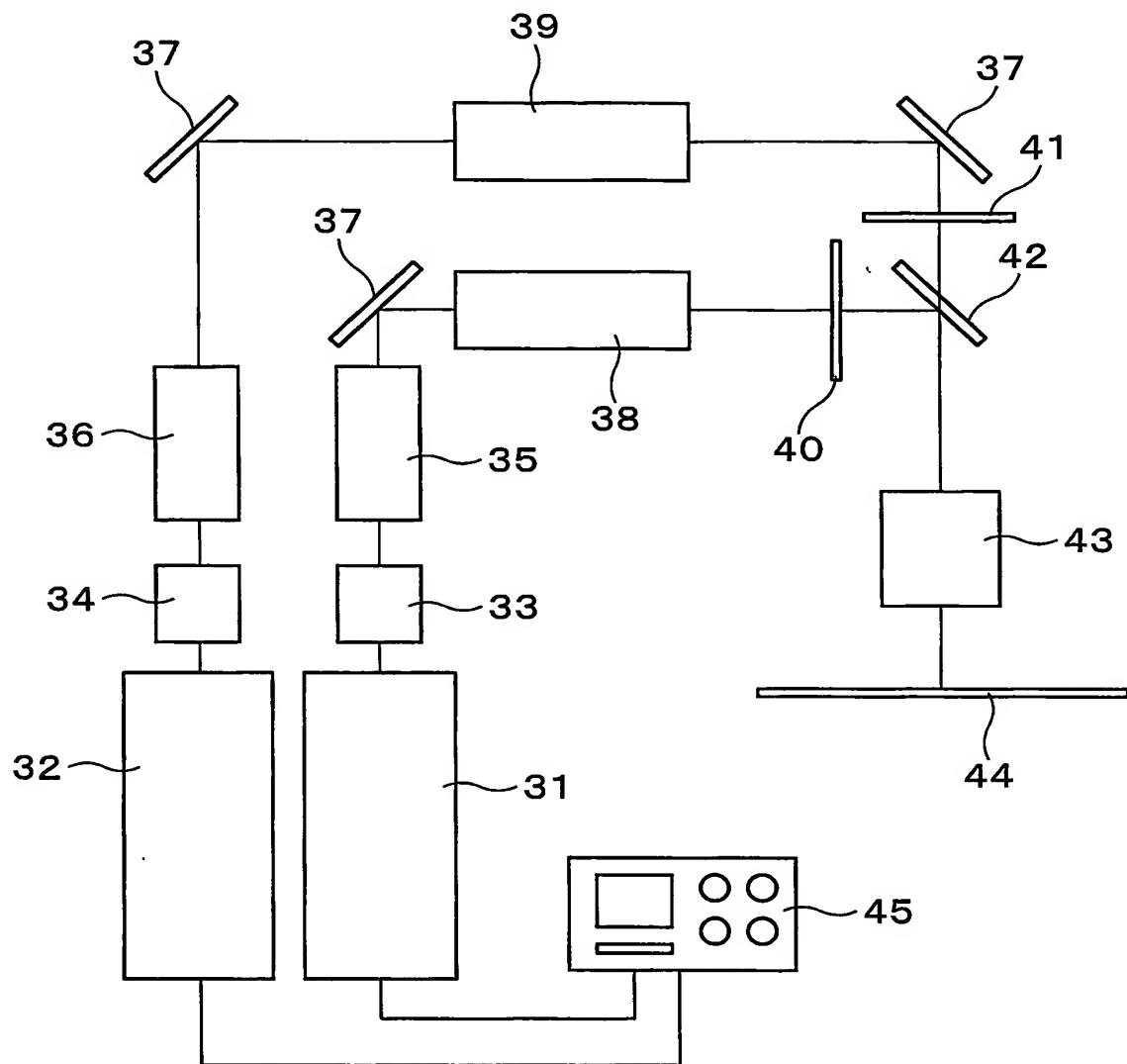


図5 (d)



5/8

図6



6/8

図7(a)

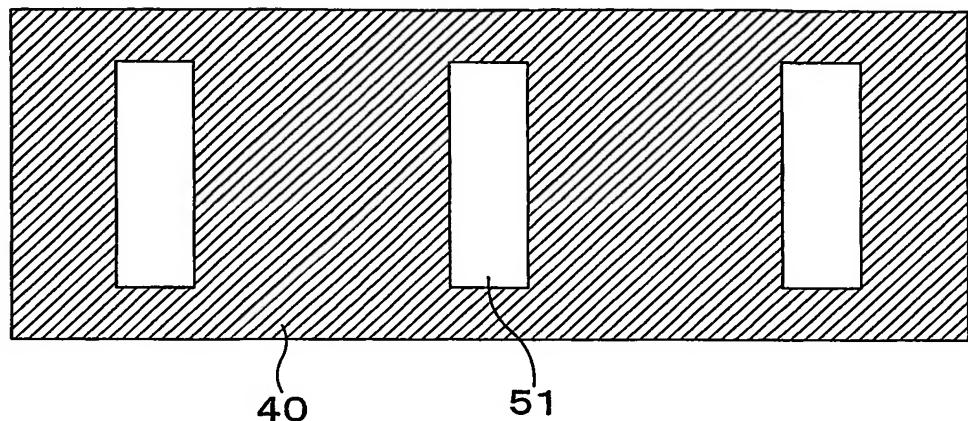
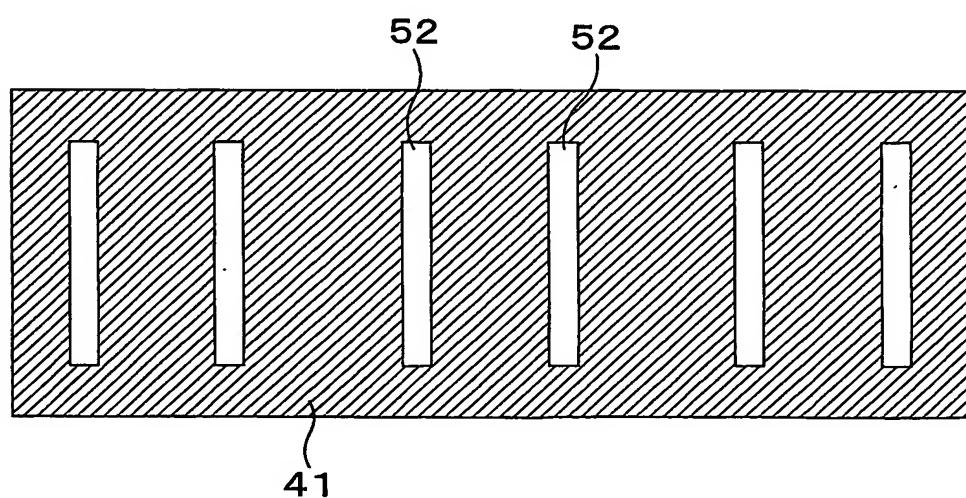
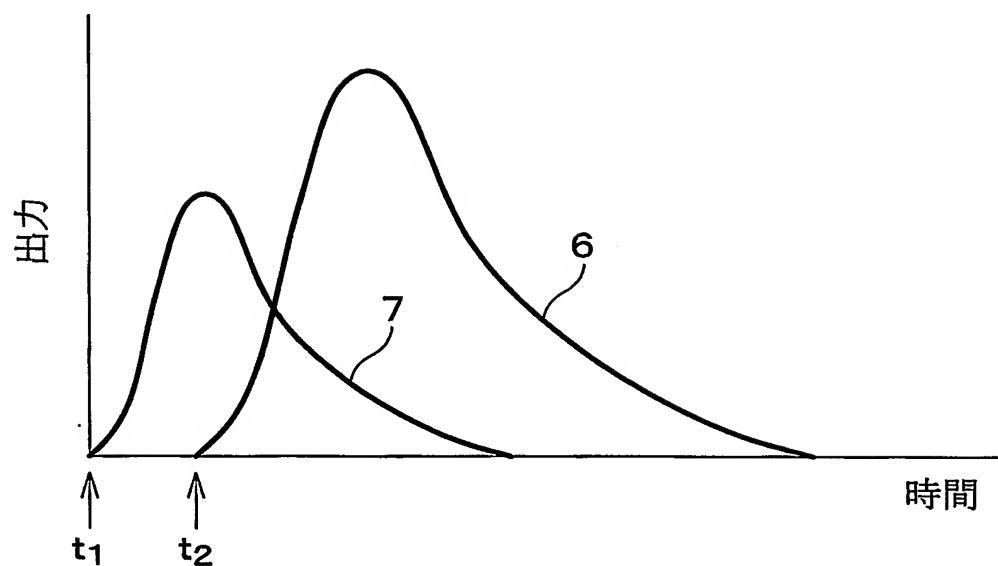


図7(b)



7/8

図8



8/8

図9(a)

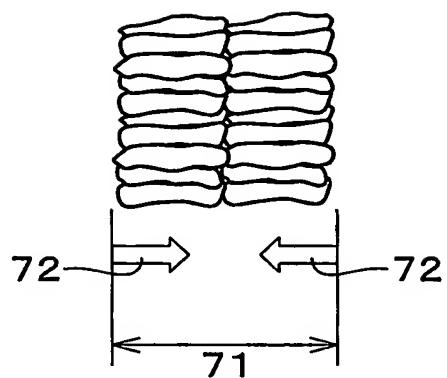


図9(b)

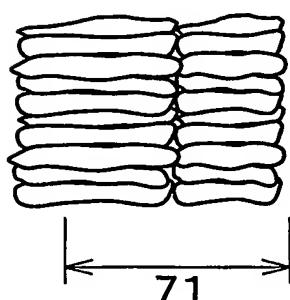
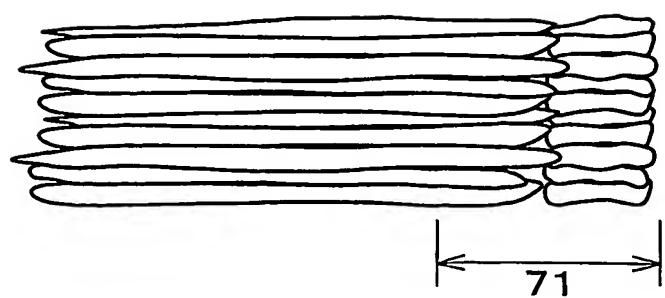


図9(c)



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2004/000161

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
Int.Cl⁷ H01L21/20, H01L21/268

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
Int.Cl⁷ H01L21/20, H01L21/268

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched
Jitsuyo Shinan Koho 1922-1996 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2004
Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2004 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2004

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	JP 2001-176797 A (Sony Corp.), 29 June, 2001 (29.06.01), Full text; Figs. 1 to 8 (Family: none)	1-3, 7, 9, 10-12, 14 4-6, 8, 13
X Y	EP 1047119 A2 (Sony Corp.), 25 October, 2000 (25.10.00), Full text; Figs. 1 to 11 & JP 2000-306859 A Full text; Figs. 1 to 11 & US 2002/0047579 A1 & US 2002/0047580 A1 & KR 77040 A	1-2, 6, 7, 9, 10 3-5, 8, 11-14

Further documents are listed in the continuation of Box C. See patent family annex.

* Special categories of cited documents: "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier document but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art "&" document member of the same patent family
---	--

Date of the actual completion of the international search
19 March, 2004 (19.03.04)

Date of mailing of the international search report
06 April, 2004 (06.04.04)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2004/000161

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	JP 2002-203861 A (Matsushita Electric Industrial Co., Ltd.), 19 July, 2002 (19.07.02), Full text; Figs. 1 to 31 & WO 02/09192 A1	7,9,10 1-6,8,11-14
Y	JP 11-307450 A (NEC Corp.), 05 November, 1999 (05.11.99), Full text; Figs. 1 to 11 (Family: none)	1-14

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int. C17 H01L21/20, H01L21/268

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int. C17 H01L21/20, H01L21/268

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1922-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2004年
日本国実用新案登録公報	1996-2004年
日本国登録実用新案公報	1994-2004年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
X	JP 2001-176797 A (ソニー株式会社) 2001.06.29, 全文, 第1-8図 (ファミリーなし)	1-3, 7, 9, 10-12, 14 4-6, 8, 13
Y		

 C欄の続きにも文献が列挙されている。 パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
 「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
 「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)
 「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
 「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
 「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
 「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
 「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

19. 03. 2004

国際調査報告の発送日

06. 4. 2004

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/JP)

郵便番号 100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

宮崎 國子

4 L 9277

電話番号 03-3581-1101 内線 3496

C (続き) 関連すると認められる文献		関連する 請求の範囲の番号
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	
X	EP 1047119 A2 (SONY CORPORATION)	1-2, 6, 7, 9, 10
Y	2000. 10. 25, 全文, 第1-11図 & JP 2000-306859 A, 全文, 第1-11図 & US 2002/0047579 A1 & US 2002/0047580 A1 & KR 77040 A	3-5, 8, 11-14
X	JP 2002-203861 A (松下電器産業株式会社)	7, 9, 10
Y	2002. 07. 19, 全文, 第1-31図 & WO 02/09192 A1	1-6, 8, 11-14
Y	JP 11-307450 A (日本電気株式会社) 1999. 11. 05, 全文, 第1-11図 (ファミリーなし)	1-14